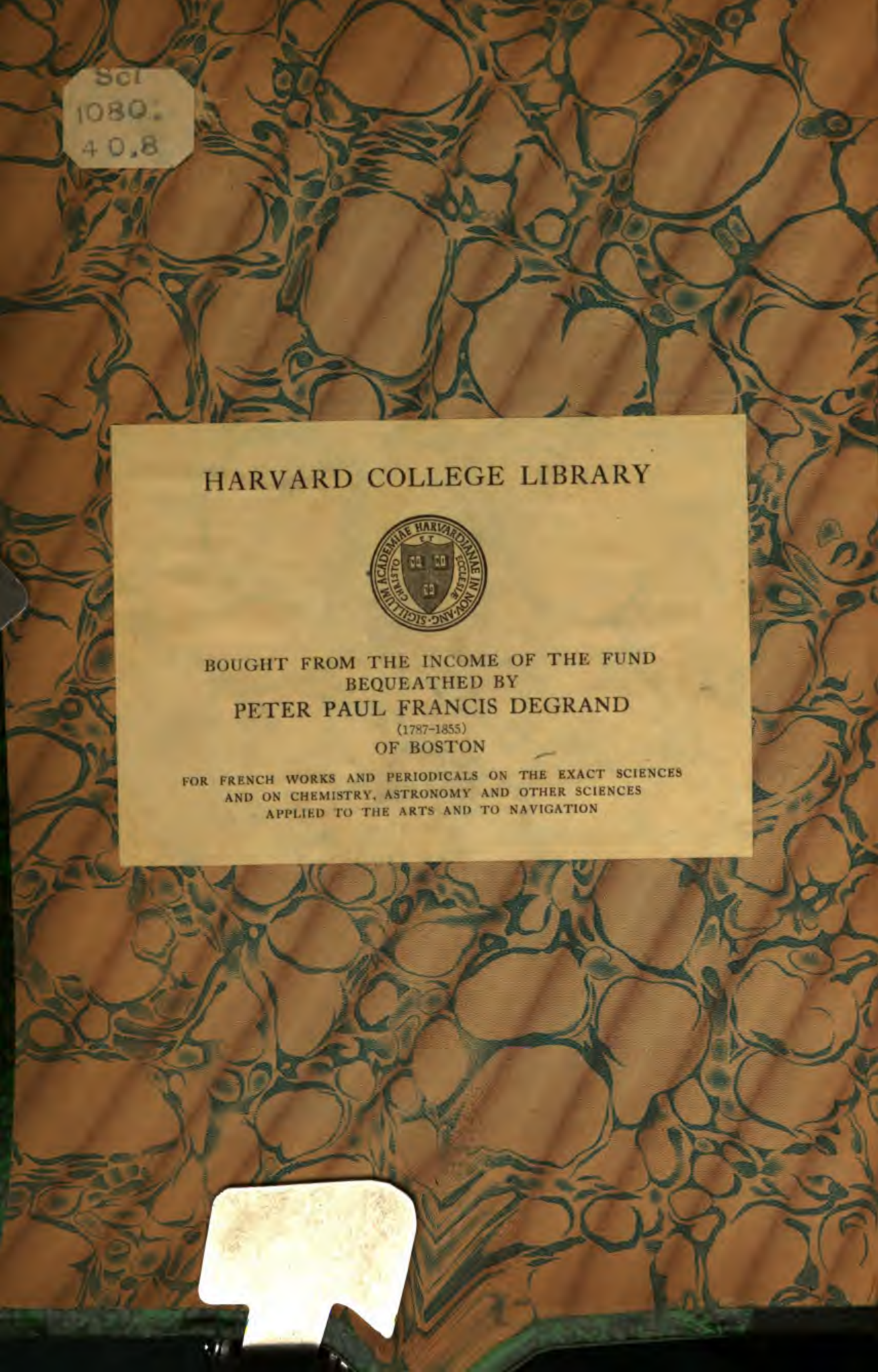
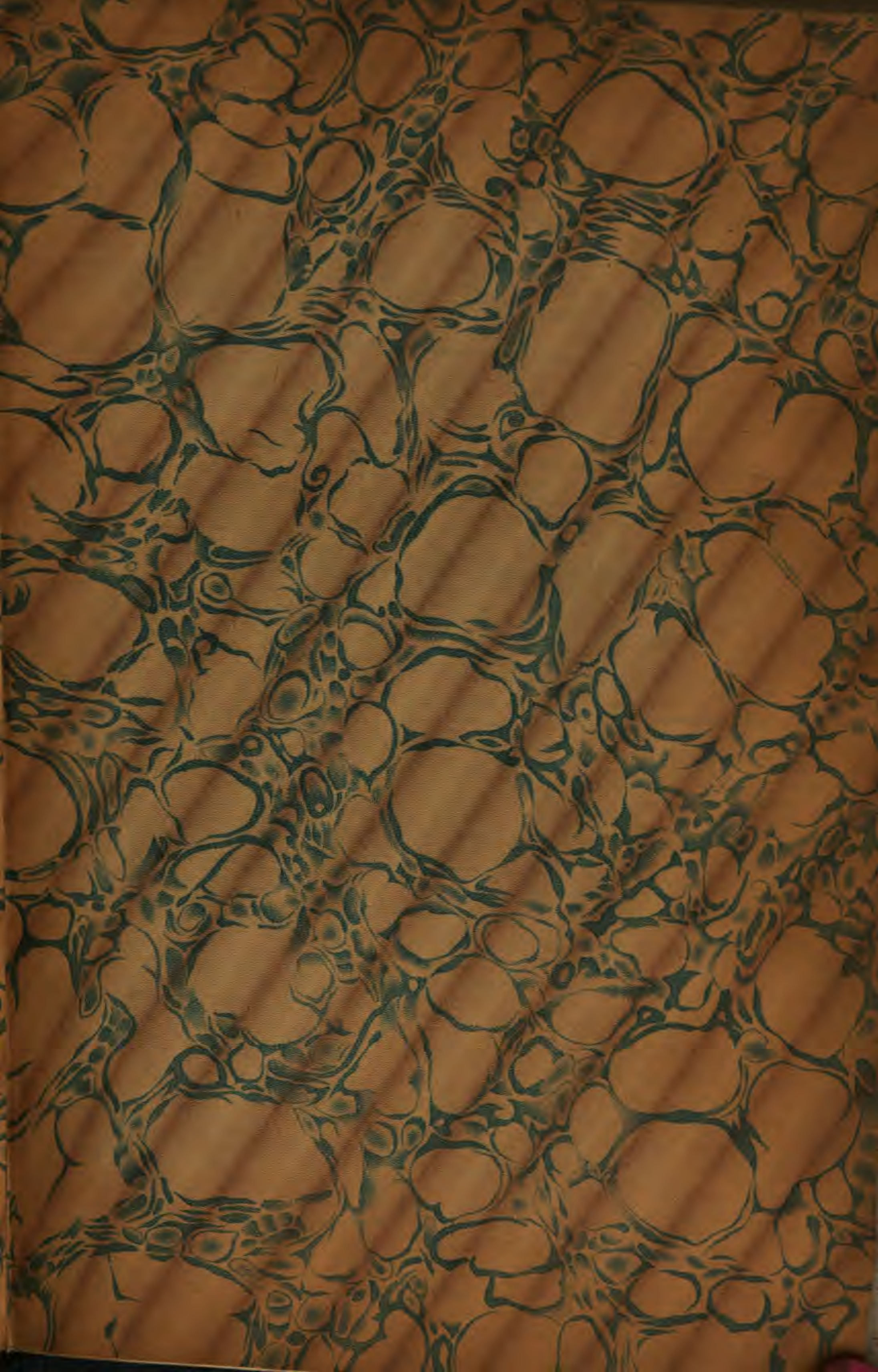




SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1895.

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS,
22333 Quai des Grands-Augustins, 55.

SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE
PAR DÉCRET DU 15 JANVIER 1881.

ANNÉE 1895.

PARIS,
AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ,
44, RUE DE RENNES, 44.

—

1895

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

SÉANCE DU 4 JANVIER 1895.

PRÉSIDENCE DE M. JOUBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 21 décembre 1894 est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. FOVEAU DE COURMELLE, Docteur en Médecine, à Paris.
KNOLL, Préparateur au Lycée Louis-le-Grand.

M. GUILLAUME montre comment on peut, à l'aide d'un appareil très simple, rendre évidentes les conditions de la résonance ou, plus généralement, de la transmission de l'énergie par un milieu élastique, à un corps susceptible d'effectuer des oscillations isochrones. Suivant le rapport des périodes, l'énergie communiquée au milieu y reste en majeure partie à l'état potentiel, ou se transmet en plus grande partie au corps oscillant; on a, lors d'une transmission mécanique d'énergie, régularisation dans le premier cas, résonance ou pseudo-résonance dans l'autre.

L'appareil présenté à la Société se compose d'une masse suspendue à un fil de caoutchouc, à l'extrémité supérieure duquel on communique un mouvement de va-et-vient à l'aide d'une manivelle et d'une bielle. Dans un autre dispositif, on donne à un axe un mouvement oscillatoire; une planchette est montée folle sur l'axe, auquel elle est réunie par l'intermédiaire d'un ressort. Lorsqu'on donne aux oscillations une durée convenable, la planchette exécute des mouvements de grande amplitude. On peut enfin relier à la manivelle de commande de l'axe, l'extrémité d'un fil élastique agissant sur une masse suspendue elle-même à un fil de caoutchouc. La période d'oscillation de cette masse peut être aisément réglée en modifiant la tension du caoutchouc. Si les deux couplages ont une période un peu différente, l'un des deux mobiles, masse ou planchette, prend un mouvement de grande amplitude, pour une période donnée du mouvement excitateur, tandis que l'autre n'effectue que des oscillations de peu d'étendue. Les deux reviennent au repos lorsque le mouvement excitateur est très rapide.

Les fils de caoutchouc, qui transmettent l'énergie, en retiennent une partie qui se dissipe en chaleur; les réactions du fil sont, du reste, plus fortes lorsqu'il s'allonge que lorsqu'il se raccourcit; c'est une hystérèse d'une espèce particulière; si, par exemple, la gravitation se transmet avec une vitesse finie, un corps tournant dans un champ d'attraction doit communiquer peu à peu son énergie au milieu, indépendamment de toute autre cause de déperdition. Mais on sait que la durée de transmission de la gravitation a toujours été trouvée inférieure à toute quantité mesurable. Si l'on trouvait un jour que la vitesse n'est pas infinie, il faudrait en conclure que l'énergie n'est pas rigoureusement conservée, ou que l'énergie absorbée par le milieu s'y trouve sous une forme encore inconnue.

M. Pellat présente à la Société une sirène construite sur ses indications par M. Ducretet et Lejeune, qui diffère de la sirène de Cagnard de La Tour par les deux points suivants :

1° Les trous des plateaux ont une direction normale à ceux-ci; 2° la rotation est obtenue par un moteur électrique. Pour cela, sur l'axe du disque tournant est disposé un petit anneau Gramme placé entre les mâchoires d'un électro-aimant; le système est monté en dérivation et le courant est fourni par trois accumulateurs en tension. Aucune résistance supplémentaire n'est introduite dans le circuit inducteur; mais des résistances auxiliaires sont placées dans le circuit de l'anneau, au moyen d'un rhéostat continu. On peut ainsi faire varier à volonté la vitesse de rotation, l'amener très rapidement à une valeur fixe et il en est de même, par conséquent, de la hauteur du son rendu par la sirène.

Cet instrument présente les avantages suivants : 1° l'unisson du son étudié s'obtient bien plus aisément qu'avec les sirènes ordinaires et se maintient pendant longtemps; 2° les qualités du son, hauteur et intensité sont rendues indépendantes; on peut obtenir des sons graves intenses ou des sons aigus faibles, ce que ne permet pas la sirène de Cagniard de la Tour; 3° les sons graves sont aussi purs que les sons aigus, ce qui n'a pas lieu dans la sirène ordinaire; 4° on peut interrompre le courant d'air, pour cesser de faire parler la sirène, sans modifier la hauteur du son rendu quand l'air est insufflé à nouveau.

M. Pellat fait fonctionner ce nouvel appareil, ainsi que deux sirènes ordinaires pour faire la comparaison.

M. Arnoux pense qu'on obtiendra encore plus de fixité dans la hauteur du son par l'addition, sur l'axe de rotation, d'un disque de cuivre rouge tournant dans un champ magnétique.

Tout en reconnaissant la justesse de l'idée, M. Pellat fait remarquer à M. Arnoux que dans la pratique le son rendu par la sirène électrique, telle qu'elle est construite, est suffisamment fixe.

M. Guillaume fait observer qu'un corps qui se déplace dans un fluide

éprouve, de la part de ce dernier, une résistance qui croît lorsque le fluide se meut perpendiculairement au mouvement du corps; il semble en résulter que la vitesse du disque mobile de la sirène doit diminuer légèrement lorsque la vitesse du courant d'air augmente. Il se peut du reste, que cette diminution de vitesse soit insensible dans les limites de la pratique.

M. Guillaume indique ensuite une analogie acoustique de l'expérience par laquelle M. Lippmann est parvenu à fixer les couleurs au moyen de la Photographie. Lorsqu'on produit un choc, en frappant sur le sol ou dans ses mains, au voisinage d'une balustrade ou d'une palissade, on entend un son cinglant et prolongé; cette observation, indiquée par M. P. Chappuis, s'explique par une réflexion sur les barreaux de la balustrade. Les chocs qu'ils renvoient à l'oreille se succèdent à des intervalles de temps correspondant à un son dont la longueur d'onde est sensiblement double de la distance des barreaux. Une observation analogue a été faite par M. P. Lauriol, au pied de l'escalier monumental de la Cathédrale de Bourges.

L'analogie évidente entre cette observation et l'expérience de M. Lippmann peut aider à comprendre cette dernière.

M. Pellat rappelle que les astronomes de Greenwich ont trouvé que l'aberration astronomique observée avec une lunette pleine d'eau a la même valeur qu'avec une lunette pleine d'air.

M. Pellat donne une démonstration simple et rigoureuse de ce phénomène, fondé : 1° sur le déplacement du point nodal qui, dans une lunette pleine d'eau, n'est plus dans le plan de l'objectif, mais aux trois quarts environ de la distance focale comptée à partir du réticule; 2° sur l'entraînement de l'éther par la matière pondérable, d'après les formules de Fresnel étendues au cas où l'entraînement a lieu dans une direction quelconque par rapport à la direction de la lumière. On arrive ainsi, pour l'aberration α, à la relation

$$\alpha = \frac{v \sin \omega}{V\left(1 + \frac{v}{V}\frac{\cos\omega}{n}\right)}$$

$\Bigg(\frac{v}{V}$ rapport de la vitesse de la Terre à celui de la lumière dans le vide, ω angle de la direction de la propagation de la lumière et de la direction de l'entraînement, n indice de réfraction du milieu contenu dans la lunette$\Bigg)$.

Comme $\frac{v}{V}\frac{\cos\omega}{n}$ est toujours négligeable vis-à-vis de l'unité, la relation se réduit à

$$\alpha = \frac{v \sin \omega}{V};$$

elle est donc indépendante de n.

M. Pellat fait remarquer que ce résultat ne subsisterait plus si l'entraînement de l'éther dans une direction quelconque se faisait suivant une

autre relation que celle de Fresnel; or, cette relation n'a été établie *a priori* ou vérifiée par M. Fizeau que dans le cas où la direction du déplacement coïncide avec celle de la propagation de la lumière.

RAPPORT DE LA COMMISSION DES COMPTES

SUR L'EXERCICE 1893-1894.

MESSIEURS,

Le compte de l'Exercice, clos le 30 novembre dernier, comprend les articles suivants :

Recettes.

En caisse au 1er décembre 1893		fr 4395,10
Cotisations arriérées	fr 370,00	
» 1894	7430,60	
» 1895	30,00	7830,60
Entrées		70,00
Souscriptions perpétuelles		2100,00
Intérêts du capital		1750,00
Vente des publications de la Société		195,00
Subvention ministérielle		240,00
Vente de 10 obligations Midi au porteur		4622,25
TOTAL DES RECETTES		21202,95

Dépenses.

Loyer du siège social et enregistrement	fr 605,25
Supplément pour séances extraordinaires et emploi des machines	345,30
Traitement de l'agent	2000,00
Abonnements et reliures	345,45
Achats de livres	58,35
Rayons pour la Bibliothèque	46,00
Indemnité pour le service de la Bibliothèque	300,00
Bibliothèque circulante	79,65
Frais de bureau; étrennes	362,25
Recouvrement des cotisations	188,52
Frais d'expériences	140,35
A reporter	4471,12

Report...........	fr 4471,12
Séance de Pâques..	523,60
Gravure du *Bulletin*..	284,00
Distribution du *Bulletin*..	540,75
Divers (funérailles de M. Mallard, tombe de Fresnel)..........	105,00
Payé à MM. Gauthier-Villars et fils..........................	5304,72
Achat de 20 obligations Est (nominatives)....................	9302,10
TOTAL DES DÉPENSES.......	20531,29
D'où résulte un excédent de recettes, en caisse au 1er décembre 1894, de..	671,66
TOTAL ÉGAL A CELUI DES RECETTES................	21202,95

Il convient de remarquer que si, dans le résumé ci-dessus, on laisse de côté l'encaisse au début de l'Exercice, les souscriptions perpétuelles, la vente et l'achat des obligations, on voit que les recettes normales de la Société ont été pendant l'Exercice de 10085fr, tandis que les dépenses courantes ont atteint 11229fr,19.

Il y a donc un déficit de 1143fr,59.

Cela montre la nécessité d'accroitre les revenus de la Société, en activant le recrutement des nouveaux membres ou par tout autre moyen. La plus grande économie doit aussi être apportée dans toutes les dépenses.

Détail des comptes relatifs aux publications.

La somme de 5304fr,72, payée à MM. Gauthier-Villars et fils, se décompose comme il suit :

Bulletin des séances, avril-novembre 1892 (900 exemplaires)..	fr 992,40
Bulletin des séances, novembre-décembre 1892 (900 exemplaires..	1381,25
Bulletin des séances, janvier-avril 1893 (900 exemplaires)....	983,00
Circulaires et impressions diverses	263,70
Ordre du jour des séances, novembre 1892 à juillet 1893 ...	1608,27
Expédition de volumes et fournitures de librairie............	76,00
TOTAL..................	5304,72

La situation de la Société au 30 novembre 1894 se résume ainsi :

Actif.

	fr
69 obligations du chemin de fer du Midi (anciennes) nominatives, achetées 24940fr,05, valant	33740,00
3 obligations du chemin de fer du Midi (anciennes) au porteur, achetées 1182fr,32, valant	1380,00
9 obligations du chemin de fer du Midi (nouvelles) au porteur, achetées 3643fr,70, valant	4149,00
6 obligations du chemin de fer de l'Est (anciennes) nominatives, achetées 2653fr,50, valant	2844,00
10 obligations du chemin de fer de l'Est (nouvelles) au porteur, achetées 3997fr,50, valant	4702,50
28 obligations du chemin de fer de l'Est (nouvelles) nominatives, achetées 12721fr,20 valant	13167,00
8 obligations du chemin de fer de l'Est (nouvelles) nominatives, achetées 3758fr,45, valant	3762,00
133 obligations achetées 52896fr,72, valant	63744,50
En caisse au 30 novembre 1894	671,66
TOTAL DE L'ACTIF IMMÉDIATEMENT RÉALISABLE	64416,16

Passif.

Mémoires dus à MM. Gauthier-Villars et fils :

	fr
Bulletin des séances, avril-juillet 1893 (900 exemplaires)	1072,25
Bulletin des séances, juillet-décembre 1893 (900 exemplaires)	991,65
Bulletin des séances, 1er fascicule 1894 (900 exemplaires)	667,30
Bulletin des séances, 2e fascicule 1894 (900 exemplaires)	653,30
Circulaires et impressions diverses	134,75
Ordre du jour des séances (novembre 1893 à juillet 1894)	1589,99
Expédition de volumes et fournitures de librairie	109,45
Enveloppes pour convocations	478,75
TOTAL	5697,44
D'où ressort un excédent d'actif de	58718,72
TOTAL ÉGAL A L'ACTIF	64416,16

Si à l'excédent ci-dessus 58718,72
on ajoute la valeur de l'actif non immédiatement réalisable, savoir :

Volumes en dépôt chez MM. Gauthier-Villars et fils :

			fr
Coulomb	636 Volumes	3886 volumes à 6fr l'un	23316,00
Ampère I	696 »		
Ampère II	814 »		
Pendule I	820 »		
Pendule II	920 »		

Cotisations à recouvrer, évaluées à 500,00

On obtient pour l'*avoir total de la Société* 82534,72

Statistique.

Au 1er décembre 1894		777 Membres.
Reçus en 1894		32
Total		809
D'où il faut retrancher :		
Décédés	12	
Démissionnaires ou rayés	11	23
Il reste donc au 1er décembre 1894		786 Membres.

Savoir :

389 à Paris,
251 en province,
146 à l'étranger,

786

Les Membres perpétuels sont au nombre de 218, savoir :

		fr	fr
199 (dont 28 décédés)	ayant versé	200, soit	39800,00
9 (dont 1 décédé)	»	150, »	1350,00
5	»	100, »	500,00
5	»	50, »	250,00
218	Total des versements		41900,00

Enfin, dans l'actif de la Société, deux sommes proviennent de dons et ont des affectations spéciales; savoir :

	fr
Fonds Guébhard pour la Bibliothèque	9500,00
Dons pour le Volume des Constantes	5000,00
Total	14500,00

La Commission a constaté l'ordre et la régularité des écritures tenues par M. le Trésorier, et elle vous propose d'approuver les Comptes, en lui adressant des remercîments pour le soin et le dévouement dont il ne cesse de faire preuve.

Paris, le 24 décembre 1894.

Les Membres de la Commission,

Colonel Bassot, Poiré et Lucien Bordet, Rapporteur.

Sirène;

PAR M. H. PELLAT.

Cette sirène diffère de la sirène ordinaire de Cagnard de La Tour en ce que les trous sont percés normalement aux plateaux (D′), de façon que l'organe producteur du son ne soit pas en même temps l'organe moteur. Celui-ci est constitué par une petite dynamo

Fig. 1.

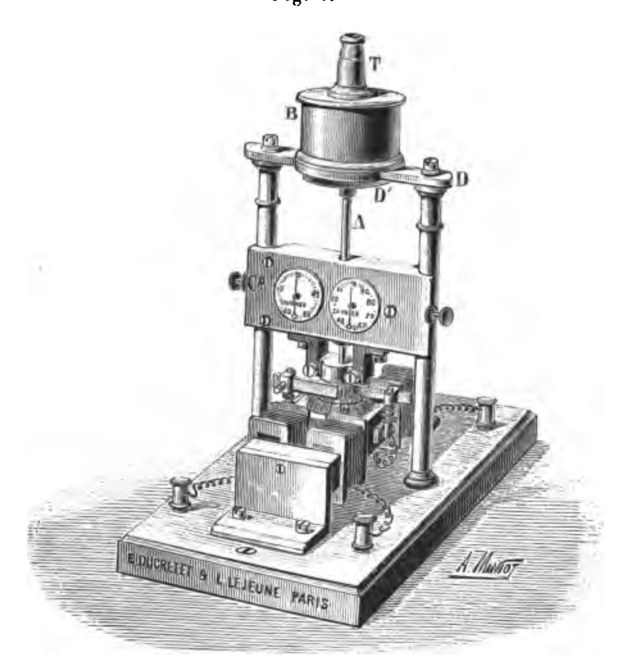
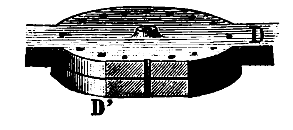


Fig. 2.



Gramme dont l'anneau est porté par l'axe même de rotation A du plateau mobile. De cette façon, la hauteur du son produit par la sirène ne dépend pas de la pression de l'air dans la soufflerie,

l'intensité du son seul en dépend; on peut donc faire varier à volonté, indépendamment l'une de l'autre, ces deux qualités d'un son. Pour obtenir un mouvement de rotation bien uniforme, et pour pouvoir rapidement passer d'une vitesse constante à une autre vitesse constante, un frein électromagnétique, analogue à celui employé par Bourbouze, a été ajouté à l'appareil. A cet effet, l'axe de rotation A porte un disque en cuivre rouge qui tourne dans son plan entre les pôles de deux électro-aimants formant, par leur ensemble, un circuit magnétique presque fermé (ce dispositif n'est pas représenté sur la figure, ayant été ajouté depuis que l'appareil a été dessiné). Bien entendu, l'appareil est pourvu d'un compteur de tours comme les sirènes ordinaires.

Pour faire l'expérience, on met en dérivation, sur une batterie de trois ou quatre accumulateurs (petit ou grand modèle, peu importe) : 1° l'anneau de la machine Gramme; 2° son inducteur; 3° le circuit des électro-aimants du frein. Pour faire varier la vitesse, on place un rhéostat (un rhéostat continu pour lampe à arc, par exemple) dans ce dernier circuit; c'est en agissant sur le frein électromagnétique qu'on règle le mieux la vitesse de rotation et, par conséquent, la hauteur du son. Il est commode aussi de mettre un rhéostat, qui peut être discontinu, dans le circuit de l'anneau, mais ce n'est pas indispensable.

Cette sirène permet d'obtenir des sons d'une hauteur remarquablement fixe et de mettre rapidement, par le jeu du rhéostat, le son produit à l'unisson d'un son donné. On peut faire taire la sirène en supprimant l'accès de l'air et, lorsqu'on lance de nouveau le courant d'air, le son est exactement de même hauteur qu'avant, ce qui n'a pas lieu avec les sirènes ordinaires. Les sons graves peuvent être obtenus avec une grande intensité; ils ont un caractère musical aussi beau que les sons plus aigus, ce qui n'a pas lieu non plus avec les sirènes ordinaires.

Cette sirène a été construite par MM. E. Ducretet et L. Lejeune.

Théorie du phénomène de l'aberration dans le cas d'une lunette pleine d'eau;

PAR M. H. PELLAT.

On sait que les astronomes de Greenwich ont trouvé que l'aberration astronomique a la même valeur quand on l'observe avec une lunette pleine d'eau ou avec une lunette contenant de l'air. Ce phénomène a été expliqué en tenant compte de l'entraînement de l'éther; mais les explications données jusqu'ici sont un peu vagues. La suivante me paraît à la fois simple et rigoureuse.

Je supposerai l'objectif de la lunette assez mince pour que ses deux plans principaux soient à une distance négligeable; il en sera de même alors des deux points nodaux. Mais ce point nodal, dans le cas où la lunette renferme un milieu d'indice n par rapport à l'air, n'est pas dans le plan principal; il est situé entre l'objectif et le plan du réticule (plan focal), à une distance D de ce plan égale à $\frac{f}{n}$ ($\frac{3}{4}f$ dans le cas de l'eau), en désignant par f la distance du plan de l'objectif au plan du réticule (deuxième distance focale). Il résulte de là que, si dans le plan du réticule on a deux images distantes de d de deux points à l'infini, la distance angulaire α de ces deux points est donnée par

$$\alpha = \frac{d}{D} = \frac{nd}{f}, \tag{1}$$

puisque l'angle des droites qui joignent chacune de ces images au point nodal est égal à l'angle α des rayons incidents correspondant à chacun des points-objets.

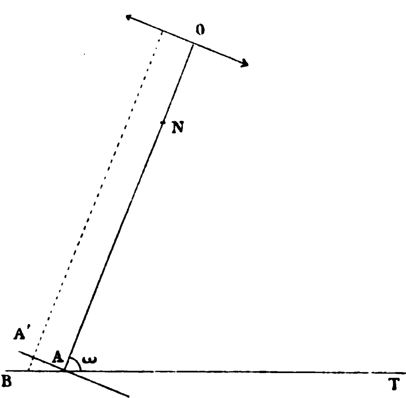
Supposons maintenant une lunette dont l'axe optique OA est réellement dirigé dans la direction d'une étoile, pour fixer les idées, cette lunette étant entraînée par le mouvement de la Terre avec une vitesse v dans une direction AT faisant un angle ω avec la direction de l'axe OA. Négligeons l'entraînement de l'éther par l'air que traverse l'onde lumineuse avant de tomber sur l'objectif, ainsi que la différence d'indice de l'air et du vide. Les ondes ont alors en arrivant sur l'objectif la même direction que si la lunette se mouvait dans le vide. Désignons par t le temps que met la lu-

mière, dans ces conditions, à parcourir l'espace compris entre l'objectif et le plan du réticule, on a

$$(2) \qquad f = V'_1 t,$$

en désignant par V'_1 la vitesse de la lumière par rapport à la lunette

Fig. 1.



dans le milieu qu'elle renferme. La théorie de l'entraînement de l'éther donne d'ailleurs

$$(3) \qquad V'_1 = V' + \frac{v \cos\omega}{n^2} = \frac{V}{n} + \frac{v \cos\omega}{n^2},$$

en désignant par V' la vitesse de la lumière dans le milieu que renferme la lunette quand ce milieu est au repos et par V la vitesse de la lumière dans le vide.

Pendant ce temps t la lunette s'est avancée dans la direction AT d'une quantité vt, mais l'éther de la lunette s'est avancé dans cette direction d'une quantité $vt\frac{n^2-1}{n^2}$, ou du moins tout se passe comme s'il en était ainsi. Le déplacement relatif BA du réticule par rapport à l'éther est donc donné par

$$BA = vt - vt\,\frac{n^2-1}{n^2} = \frac{vt}{n^2}.$$

Or, l'image de l'astre se formera au point B, sa distance comptée dans le plan du réticule au point A, où se formerait l'image si la lunette était au repos, est AA', A' étant la projection de B sur le

plan du réticule. La distance $AA' = d$ est donnée par

$$(4) \qquad d = AA' = BA \sin\omega = \frac{vt}{n^2} \sin\omega,$$

d'où, pour l'aberration α [relation (1)]

$$(5) \qquad \alpha = \frac{d}{D} = \frac{nd}{f} = \frac{vt}{nf} \sin\omega,$$

en remplaçant t par sa valeur tirée de (2), en tenant compte de (3), il vient finalement

$$(6) \qquad \alpha = \frac{v \sin\omega}{nf} \frac{f}{V'_1} = \frac{v \sin\omega}{V + \frac{v \cos\omega}{n}} = \frac{v \sin\omega}{V\left(1 + \frac{1}{n}\frac{v}{V}\cos\omega\right)}.$$

Or, l'expression $\frac{1}{n}\frac{v}{V}\cos\omega$, qui est rigoureusement nulle quand $\omega = \frac{\pi}{2}$ (aberration maximum), est toujours négligeable devant l'unité. On a donc, avec une approximation bien supérieure à l'observation,

$$(7) \qquad \alpha = \frac{v \sin\omega}{V}.$$

Ainsi, la valeur de l'aberration est indépendante de la nature du milieu transparent contenu entre l'objectif et le plan du réticule.

Nous avons, il est vrai, appliqué la relation

$$(8) \qquad v' = v \frac{n^2 - 1}{n^2},$$

qui donne la vitesse v' de l'entraînement de l'éther dans le cas où cet entraînement a une direction quelconque, tandis que cette relation (8) n'est établie théoriquement et n'a été vérifiée expérimentalement par M. Fizeau que dans le cas où la propagation de l'onde a même direction que le déplacement du milieu pondérable. L'accord de la relation (7) et du résultat des observations de Greenwich peut être invoqué pour montrer la généralité de la relation (8).

———

SÉANCE DU 18 JANVIER 1895.

PRÉSIDENCE DE M. JOUBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le Procès-Verbal de la séance du 4 janvier est lu et adopté.

Est élu Membre de la Société :

M. CHAUMAT, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Paris.

M. le PRÉSIDENT déclare le scrutin ouvert pour la nomination du Vice-Président, du Secrétaire général, de l'Archiviste-Trésorier, du Vice-Secrétaire, de deux Membres pour la Commission du *Bulletin* et pour le renouvellement partiel du Conseil.

M. le PRÉSIDENT rappelle que le Rapport de la Commission des Comptes sur l'exercice 1893-1894 a été adressé à tous les Membres de la Société et demande s'il y a quelques observations à faire à ce Rapport. Personne ne demandant la parole, le Rapport de la Commission des Comptes est mis aux voix et adopté.

Sur la proposition du Conseil et en vertu de l'article IV des statuts, M. le PRÉSIDENT propose de nommer Membres honoraires MM. CORNU et MASCART.

MM. CORNU et MASCART sont nommés Membres honoraires à l'unanimité.

M. le PRÉSIDENT proclame le résultat du vote. Sont élus :

MM. BOUTY, Vice-Président;
PELLAT, Secrétaire général;
GAY, Archiviste-Trésorier;
CARVALLO, Vice-Secrétaire.

Membres de la Commission du *Bulletin :* MM. FOUSSEREAU et KROUCHKOLL.

Sont élus Membres du Conseil pour une période de trois années :

Membres résidants :

MM. BOUDRÉAUX, Conservateur des collections de Physique à l'École Polytechnique.
CURIE (Pierre), Chef des travaux de Physique à l'École de Physique et de Chimie.

MASSIEU, Inspecteur général des Mines, Professeur honoraire de la Faculté des Sciences de Rennes.
POINCARÉ (Antoni), Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

Membres non résidants :

MM. DUHEM, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.
MESLIN, Chargé de cours à la Faculté des Sciences de Montpellier.
MONTEFIORE (Levi), Sénateur, fondateur de l'Institut électrotechnique à Bruxelles (Belgique).
WIEDEMANN (Eilhard), Professeur à l'Université d'Erlangen (Allemagne).

M. JOUBERT, avant de quitter le fauteuil de la Présidence, rend compte des Travaux de la Société pendant l'année qui vient de s'écouler.

M. le PRÉSIDENT annonce que M. JEUNET, ancien Professeur au Lycée d'Angoulême, vient de faire don à la Société d'une somme de 500^{fr}.

La Société adresse ses plus vifs remercîments à ce généreux donateur et charge le Président de les lui transmettre.

M. le PRÉSIDENT donne lecture de la lettre suivante qui lui a été adressée par M. Wallon.

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

A propos de la communication faite à l'une des dernières séances par M. Lippmann, je me permets de rappeler quelques lignes d'un article paru dans le *Génie civil* le 21 février 1891, et dans lequel j'exposais en même temps l'expérience de M. Otto Wiener et la belle découverte de M. Lippmann :

« Remarquons que la méthode de M. Lippmann fournirait la même démonstration : une couche sensible épaisse et homogène, placée sur le miroir, donnerait, après développement, dans le premier faisceau [celui qui est polarisé dans le plan d'incidence] et dans celui-là seul, les couleurs des lames minces; et l'on en devrait tirer la même conclusion que de l'expérience de M. Otto Wiener. »

L'idée de considérer cette dernière expérience comme comprise dans celles de M. Lippmann a donc été immédiate. Ma lettre a pour seul but de le montrer, alors qu'on cherche un peu, en Allemagne, à soutenir la thèse inverse, et non d'élever une réclamation de priorité à laquelle je ne songe nullement.
Veuillez agréer, je vous prie, Monsieur le Président, l'assurance de mon respectueux dévouement.

E. WALLON,
Professeur au Lycée Janson-de-Sailly.

M. FOUSSEREAU présente une démonstration de la formule de Fresnel relative à l'entraînement de l'éther par la matière en mouvement. En sup-

posant, comme l'a fait Fresnel, que l'éther est formé par la superposition de deux milieux, l'un de densité ρ qui ne partage pas le mouvement du milieu matériel, l'autre de densité ρ' entraîné par la matière et dénué d'élasticité, on trouve pour l'équation du mouvement transmis par une onde plane uniforme, en supposant que la translation de la matière a lieu suivant la direction de la propagation, avec la vitesse v,

$$(\rho+\rho')\frac{\partial^2 s}{\partial t^2}+2v\rho'\frac{\partial^2 s}{\partial t\,\partial x}-(\mathrm{E}-v^2\rho')\frac{\partial^2 s}{\partial x^2}=0.$$

Cette équation est satisfaite par des intégrales de la forme

$$s=\mathrm{F}\left(t-\frac{x}{\mathrm{V}}\right),$$

qui correspondent à une propagation uniforme dans le sens des x positifs. La vitesse de propagation V est assujettie à la condition

$$\rho\mathrm{V}^2+\rho'(\mathrm{V}-v)^2=\mathrm{E}=(\rho+\rho')\mathrm{V}_0^2,$$

V_0 étant la vitesse de propagation dans le même milieu supposé immobile. Cette formule est celle de Fresnel.

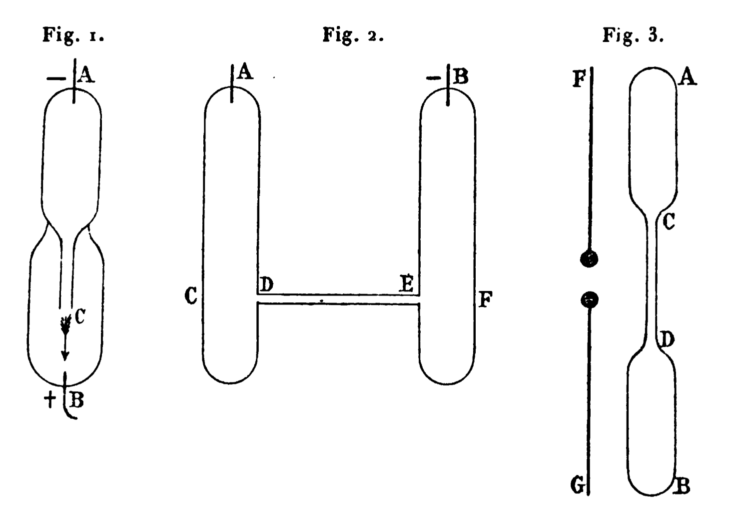
On trouve que la même équation différentielle s'applique au mouvement communiqué à l'éther par un centre d'ébranlement initial, suivant une direction quelconque faisant un angle α avec celle du mouvement de translation, à la condition de remplacer v par $v\cos\alpha$. On en déduit que l'onde transmise est au temps t une onde sphérique de rayon $V_0 t$. Le centre de cette onde est un point S d'un milieu fictif animé par rapport à l'éther fixe d'un mouvement de translation rectiligne et uniforme de vitesse $v\left(1-\frac{1}{n^2}\right)$, suivant la direction de la translation de la matière, ce point S coïncidant à l'origine des temps avec le point O, origine de l'ébranlement, n représente l'indice absolu de la matière en mouvement. Une onde plane se propage dans ce milieu fictif avec la vitesse constante V_0. La vitesse de propagation dans l'éther fixe s'obtient en grandeur et en direction en composant les deux vitesses V_0 et $v\left(1-\frac{1}{n^2}\right)$. La vitesse V' de propagation relative par rapport à la matière en mouvement, qui est seule observée dans le phénomène de l'aberration, s'obtient en composant les vitesses V_0 et $-\frac{v}{n^2}$, cette dernière étant dirigée en sens contraire du mouvement de translation.

Ces conditions sont d'accord avec le fait connu de la conservation des lois ordinaires de la réflexion et de la réfraction pour la direction relative de propagation des rayons lumineux par rapport à la matière en mouvement.

M. P. Curie présente au nom de M. de Kowalski ses recherches sur la production des rayons cathodiques.

M. de Kowalski a recherché dans quelles conditions les rayons cathodiques peuvent prendre naissance. Il décrit d'abord une expérience de M. Goldstein : dans le tube à vide représenté (*fig.* 1), les rayons cathodiques se montrent non seulement près de l'électrode négative A, mais encore à la sortie en C du tube capillaire par lequel passe le courant. M. de Kowalski emploie d'abord le tube représenté (*fig.* 2); le courant électrique est assez dense à la sortie des électrodes et dans le tube capillaire DE et l'on voit dans ces parties une lueur due au courant que l'on peut appeler *lueur primaire*. C'est aux endroits où le courant est assez dense que prennent naissance les rayons cathodiques; ils s'échappent en ligne droite tangentiellement aux lignes de courant, mais seulement dans la direction inverse de celle du courant.

Les rayons cathodiques prennent naissance en B à l'électrode négative ; on voit encore un faisceau de rayon suivant DC dans le prolongement du



tube capillaire, et en C on observe sur le verre une tache phosphorescente qui se déplace sous l'action de l'aimant. Au contraire, aucun faisceau de rayons ne s'échappe en E à l'autre extrémité du tube capillaire (cette expérience est répétée devant la Société).

Dans une autre expérience (*fig.* 3), M. de Kowalski a pu obtenir des rayons cathodiques dans un tube sans électrodes AB, excité par des courants de Tesla circulant dans le déchargeur FG. Des extrémités C et D de la partie capillaire CD partent des rayons cathodiques qui donnent en A et B des taches phosphorescentes qui dévient sous l'action de l'aimant.

M. de Kowalski conclut de ses expériences : 1° que la production des

rayons cathodiques n'est pas liée à la décharge des électrodes métalliques à travers les gaz raréfiés; 2° que ces rayons se produisent partout où la densité du courant est assez forte; 3° que la direction de la propagation de ces rayons est celle des lignes de courant dans la partie où ils se produisent et que le sens de la propagation est inverse de celui du courant.

M. Curie a recherché si les rayons lumineux étaient, comme les rayons cathodiques, déviés par l'action d'un champ magnétique. Il n'a observé aucune déviation. L'expérience a cependant été faite avec un électro-aimant très puissant permettant de faire passer le rayon lumineux sur une longueur de $0^{m},20$ dans un champ de 14000 unités, là lumière se propageant dans une direction normale à celle du champ. L'expérience a été faite dans l'air et dans le sulfure de carbone chargé de soufre. On a opéré avec un faisceau de rayons parallèles, puis avec un faisceau convergent donnant un foyer au milieu du champ. Dans ce dernier cas, un déplacement latéral de $\frac{1}{100}$ de millimètre dans la position du foyer aurait été nettement visible.

M. Curie ne pense pas que cette expérience négative suffise pour déclarer que les rayons cathodiques sont des radiations d'une nature différente de celles de la lumière, cependant elle n'est pas favorable à un rapprochement de ce genre. Si les rayons cathodiques étaient analogues aux rayons lumineux, on s'explique difficilement qu'il n'y ait pas double réfraction par action du champ magnétique sur les rayons cathodiques.

ALLOCUTION

PRONONCÉE DANS LA SÉANCE DU 18 JANVIER 1895

PAR M. JOUBERT,

Président sortant de la Société française de Physique.

« MESSIEURS ET CHERS COLLÈGUES,

» Avant de quitter ce fauteuil où votre bienveillance m'avait appelé, j'ai deux devoirs à remplir.

» Le premier, de vous exprimer toute ma reconnaissance pour le grand honneur que vous m'avez fait. Cet honneur, votre ancien Secrétaire général y a été d'autant plus sensible qu'il n'a pu se méprendre sur votre intention : vous avez voulu vous souvenir des soins bien dévoués, je vous l'assure, donnés autrefois à la Société.

» Le second est de vous présenter, dans un court résumé, l'état actuel de la Société.

» Dans cette Revue annuelle, il y a toujours un point douloureux, c'est le compte de ceux de nos collègues que nous avons laissés sur la route. Cette année, la liste en est malheureusement d'une longueur inaccoutumée. Les docteurs Chabry et Rigout; Jeannel, Rey, Vandenbroucque, appartenant à des titres divers à l'enseignement; Archambault, ancien professeur au lycée Charlemagne, un des membres fondateurs de la Société; Deleuil, également un de nos collègues de la première heure, depuis longtemps privé de la vue et que néanmoins vous trouviez toujours assidu à nos séances, conduit par une compagne dévouée; Cher-

vet, professeur au lycée Saint-Louis, frappé dans la fleur de l'âge au milieu de ses élèves; Gaudin, professeur au collège Stanislas; parmi les membres étrangers : Chamantoff, de l'Université de Saint-Pétersbourg; le P. Denza, directeur de l'observatoire romain, que votre Bureau s'était proposé de désigner aujourd'hui même à vos suffrages comme membre du Conseil; Jablochkoff, l'inventeur de la bougie électrique, le vrai promoteur de l'essor prodigieux pris il y a bientôt vingt ans par l'industrie électrique. C'est à la séance du 17 novembre 1876 qu'il nous présentait ici, à cette même place, ses premiers essais qui, quelques mois plus tard, faisaient une révolution dans l'éclairage; pauvre Jablochkoff! il goûta alors toutes les joies de la bonne fortune comme depuis toutes les amertumes de la mauvaise! Et puis encore deux anciens membres de votre Conseil : Salet, maître de Conférences à la Sorbonne, et Lemonnier, en qui nous avons toujours trouvé un concours si dévoué et si généreux et auquel nous devons la belle dynamo qui fournit l'éclairage de nos grandes séances; enfin, notre cher et regretté Président de 1890, Mallard, ce savant éminent, aussi apprécié des physiciens que des minéralogistes, cet homme bon et modeste que nous avons été heureux de placer à notre tête et qui nous en était si reconnaissant.

» Malgré tant de vides, l'effectif de la Société a encore augmenté; dans quelques jours, il aura atteint le chiffre de 800. N'est-ce pas une chose remarquable que, depuis vingt-deux ans que la Société existe, il n'y ait jamais eu un moment d'arrêt dans l'accroissement annuel de ses membres? N'est-ce pas une preuve saisissante de sa vitalité et une preuve aussi de l'attachement et de la fidélité de ses membres?

» Permettez-moi, Messieurs, de ne pas revenir sur notre séance de Pâques, bien qu'elle ait été des plus brillantes. Je ne pourrais que répéter, et moins bien, le compte rendu qu'en a fait votre Vice-Président dans la séance du 6 avril. Je tiens seulement à dire à quel point je m'associe aux paroles de remercîments qu'il adressait en cette occasion à notre vaillant Secrétaire général, M. Pellat, et à son dévoué collaborateur, M. Sandoz. C'est à eux que revient tout le mérite de l'organisation de cette belle fête.

» C'est aussi grâce à leur zèle infatigable et à leur activité incessante que nos séances ont été si intéressantes et si remplies.

Comme toujours, l'Électricité a fait les frais du plus grand nombre des communications. Vous vous rappelez celles de M. Abraham, sur les coefficients d'induction et les courants de grande fréquence ; de M. Janet, sur l'inscription électrochimique des courants alternatifs ; de M. Bouty, sur les capacités de polarisation ; de M. Van Aubel, sur la résistance des alliages. Je dois une mention spéciale aux études si complètes de M. Curie sur le Magnétisme et aux considérations si originales et si profondes du même auteur sur la symétrie ; enfin, à l'exposé magistral que nous a fait M. Hospitalier des différents types de machines.

» En Optique, j'ai à signaler la communication de M. Bary sur les indices de dissolutions, le travail si complet de M. Dufet sur les indices du spath, les recherches de Wyrouboff sur les corps à double pouvoir rotatoire, de M. Broca et de M. Tscherning sur l'Optique physiologique ; enfin, cette forme nouvelle et élégante de l'expérience de Wiener que M. Lippmann nous montrait dans une de nos dernières séances.

» La théorie de la chaleur et des gaz nous a valu la communication de M. Le Chatelier sur la Thermodynamique et la fusibilité des mélanges des sels et des alliages ; de M. de Kowalski, sur les analogies entre l'état gazeux et les dissolutions ; de M. Amagat, sur la pression intérieure des gaz, enfin de M. Villard sur les propriétés des gaz purs au voisinage du point critique, communication accompagnée d'expériences remarquables dont vous n'avez pas perdu le souvenir.

» Parmi les appareils qui nous ont été présentés je signalerai la machine Bonetti, le moteur à pétrole Panhard et Levassor, l'électricine de M. Hurmuzescu, les nouveaux appareils de mesure de Lord Kelvin, le banc d'optique de M. Sandoz, la sirène de M. Pellat.

» Je cite en dernier lieu la communication que M. Guillaume a bien voulu nous faire sur les expériences de M. Lénard parce que j'y vois un exemple que je voudrais voir suivre plus souvent. Nous ne sommes pas une Académie devant laquelle on ne peut se permettre d'apporter que les résultats de recherches personnelles et originales ; nous sommes une réunion de collègues et de camarades, également dévoués à la Science et qui ne demandons qu'à nous instruire et nous éclairer mutuellement. Si l'un de nous a

étudié à fond un travail nouveau et important publié à l'étranger, n'est-il pas dans l'intérêt de tous qu'il en fasse part à ses collègues?

» Un mot maintenant, Messieurs, sur la situation financière de la Société. Vous en avez tous vu l'exposé annexé au procès-verbal; elle n'apparaît pas très brillante et les comptes de l'année se soldent en déficit; il en a toujours été, je crois, et il en sera toujours ainsi; nous faisons beaucoup avec des ressources très exiguës et nous avons toujours eu pour principe qu'il n'y avait point intérêt à faire des économies pour l'avenir. Quant au déficit, nous avons une manière très particulière et très commode de le combler, et j'espère que de longtemps nous n'aurons pas à en chercher d'autres. Quand tous les comptes, recettes et dépenses, sont bien alignés et qu'on arrive à la balance qui va se traduire par un chiffre négatif — cette année un millier de francs, — il nous arrive un petit billet comme celui-ci :

Paris, 18 janvier 1895.

MONSIEUR,

La balance du dernier budget de la Société se réglant par un léger excédent au passif, je remets entre vos mains mille francs, ci-inclus, pour établir l'excédent du côté de l'actif.

Agréez, Monsieur le Président, mes salutations empressées.

UN ANONYME.

» Vos applaudissements, Messieurs, ont prévenu la proposition que j'allais vous faire de voter des remercîments à l'anonyme généreux qui veille ainsi à l'équilibre de notre budget.

» Je crois également répondre à vos sentiments en remerciant, en votre nom, notre Secrétaire général, M. Pellat, et notre Trésorier, M. Gay, des soins si intelligents et si dévoués qu'ils donnent aux affaires de la Société.

» Il ne me reste plus, Messieurs, après vous avoir priés encore une fois d'agréer l'expression de ma reconnaissance, qu'à inviter notre éminent collègue, M. Cailletet, à prendre place au fauteuil de la présidence. »

Sur l'entraînement des ondes lumineuses par la matière en mouvement;

Par M. G. Foussereau.

M. Potier (¹) a donné une démonstration de la formule de Fresnel relative à l'entraînement des ondes par la matière pondérable. Il suppose, avec Fresnel, que, dans les milieux transparents, l'éther peut être considéré comme le produit de la superposition d'un éther libre élastique, identique à l'éther du vide, et d'un éther condensé, sans élasticité, entraîné comme un fardeau inerte dans les mouvements de l'éther libre, et partageant le mouvement de translation du corps pondérable. En partant de cette hypothèse, M. Potier établit qu'un mouvement vibratoire pendulaire, d'amplitude et de longueur d'onde supposées invariables, se transmet avec une vitesse V, à travers un milieu pondérable animé d'une vitesse v, dans le sens de la propagation des ondes, les vitesses v et V étant liées par la formule

$$(1) \qquad (\rho + \rho')V_0^2 = \rho V^2 + \rho'(V - v)^2.$$

V_0 représente la vitesse de propagation des ondes, à travers le même milieu supposé en repos, ρ et ρ' les densités de l'éther libre et de l'éther condensé.

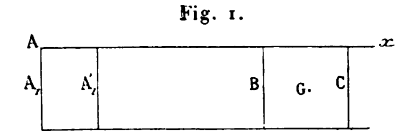
Il est possible, en s'appuyant sur l'hypothèse de Fresnel, d'établir une démonstration de la même formule pour un ébranlement quelconque communiqué à l'éther et constituant une onde plane, ou une série d'ondes planes, sans spécifier autre chose que les conditions initiales de cet ébranlement.

Considérons les phénomènes qui se produisent dans un cylindre de section égale à l'unité, dont les génératrices sont dirigées dans le sens de la propagation lumineuse. Prenons pour origine des distances x dans l'éther libre une section droite A, et des distances x_1 dans l'éther condensé la section A_1 qui coïncide avec A à l'origine des temps.

(¹) A. Potier, *Journ. de Phys.*, 1re série, t. V, p. 105.

Écrivons l'équation du mouvement pour le centre de gravité G d'une tranche BC de longueur infiniment petite dx, comprenant au temps t une certaine portion des deux milieux.

Fig. 1.



Le déplacement vibratoire s du point G dans l'éther libre doit être regardé comme une fonction de t et de x. L'accélération de ce point est $\frac{\partial^2 s}{\partial t^2}$. Le déplacement s_1 du même point G dans l'éther condensé doit être regardé comme une fonction de t et de x_1. L'accélération correspondante sera $\frac{\partial^2 s_1}{\partial t^2}$, quantité différente de la première, bien que s_1 soit égal à s, parce que les variables sont différentes.

On a donc, en écrivant que la somme des produits des masses par les accélérations est égale à la résultante des forces transportées en G parallèlement à elles-mêmes,

$$\rho \frac{\partial^2 s}{\partial t^2} + \rho' \frac{\partial^2 s_1}{\partial t^2} = \mathrm{E} \frac{\partial^2 s}{\partial x^2}, \tag{2}$$

E étant l'élasticité de l'éther libre.

Pour exprimer le second terme à l'aide des mêmes variables t et x que les autres, remarquons qu'au temps t, la section origine A_1 du milieu entraîné a parcouru la distance vt et est venue en A'_1. Deux sections appartenant aux deux milieux coïncideront donc au temps t, quand on aura

$$x = x_1 + vt. \tag{3}$$

On aura, en même temps,

$$s_1 = s.$$

Si l'on regarde x comme une fonction de t et de x_1 exprimée par l'équation (3), on peut donc écrire identiquement

$$\frac{\partial s_1}{\partial t} \equiv \frac{\partial s}{\partial t} + v \frac{\partial s}{\partial x},$$

et, par suite,

$$\frac{\partial^2 s_1}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 s}{\partial t^2} + 2v\frac{\partial^2 s}{\partial x\,\partial t} + v^2\frac{\partial^2 s}{\partial x^2}.$$

On a, en substituant cette valeur dans l'équation (2),

$$(4)\qquad (\rho+\rho')\frac{\partial^2 s}{\partial t^2} + 2v\rho'\frac{\partial^2 s}{\partial t\,\partial x} - (\mathrm{E} - v^2\rho')\frac{\partial^2 s}{\partial x^2} = 0.$$

Cette équation peut être satisfaite par des intégrales de la forme

$$(5)\qquad s = \mathrm{F}\left(t - \frac{x}{\mathrm{V}}\right),$$

qui correspondent à une propagation uniforme dans le sens des x positifs. Exprimons que cette intégrale satisfait à l'équation (4). On a, en désignant par F'' la dérivée seconde de la fonction F par rapport à $t - \frac{x}{\mathrm{V}}$

$$(\rho+\rho')\mathrm{F}'' - \frac{2v\rho'}{\mathrm{V}}\mathrm{F}'' - \frac{(\mathrm{E} - v^2\rho')}{\mathrm{V}^2}\mathrm{F}'' = 0,$$

d'où la condition

$$\rho\mathrm{V}^2 + \rho'(\mathrm{V} - v)^2 = \mathrm{E}.$$

Cette équation devient, quand la matière est immobile,

$$\mathrm{E} = (\rho+\rho')\mathrm{V}_0^2 = \rho\mathrm{V}^2 + \rho'(\mathrm{V} - v)^2,$$

formule identique à l'équation (1).

La vitesse de propagation relative V', par rapport au milieu en mouvement, s'obtient cinématiquement en composant la vitesse V avec une vitesse $-v$ égale et contraire à la vitesse de translation. On a donc

$$\mathrm{V}' = \mathrm{V} - v$$

et

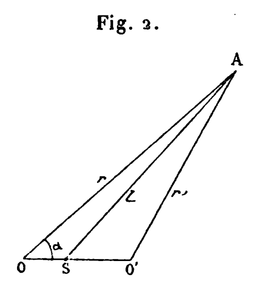
$$\rho(\mathrm{V}' + v)^2 + \rho'\mathrm{V}'^2 = (\rho+\rho')\mathrm{V}_0^2.$$

Cherchons maintenant à étendre cette démonstration au cas où la vitesse de translation v fait un angle α quelconque avec la vitesse V_0 de propagation des ondes. La vitesse de translation peut être décomposée en une composante $v\cos\alpha$ normale à l'onde origine et une composante $v\sin\alpha$ parallèle au plan de cette onde. L'existence de cette dernière vitesse, qui correspond à un mouve-

ment de translation rectiligne et uniforme perpendiculaire à Ax, ne peut introduire aucune modification dans les termes de l'équation (4) qui contiennent exclusivement des dérivées secondes du déplacement par rapport à t et à x. L'onde plane se propage donc en restant perpendiculaire à la direction Ax normale à l'onde origine, comme si la vitesse de translation se réduisait à la composante $v \cos \alpha$ parallèle à cette direction. Mais tous les points d'une onde plane ayant au même instant un mouvement identique, ce résultat ne nous fait pas connaître le chemin suivi par un ébranlement initial émané d'un point donné, c'est-à-dire la direction du rayon lumineux.

Pour la déterminer, considérons l'ébranlement qui a pour origine au temps zéro un point O de l'éther libre et se propage suivant toutes les directions. Un point A, situé à une grande distance r de O, dans une direction quelconque faisant l'angle α avec celle du mouvement de translation, reçoit au temps t un déplacement s. D'après les propriétés connues des ondes de grand rayon, le mouvement du point A est déterminé en fonction de r et de t par les mêmes équations différentielles que s'il s'agissait d'une onde

Fig. 2.



plane propagée de O en A. Soit O' la position qu'occupe au temps t le point de l'éther condensé qui coïncidait avec O à l'origine des temps. La distance OO', dirigée suivant la vitesse de translation, est égale à vt. Posons $O'A = r'$.

Nous regarderons comme négligeable par rapport à l'unité le carré du rapport $\frac{v}{V}$ qui, dans l'étude de l'aberration, est complètement inaccessible à l'expérience. A ce degré d'approximation, r' peut être regardé comme une fonction de r et de t déterminée

par l'équation

$$r = r' + vt \cos\alpha. \tag{6}$$

Le mouvement de A est déterminé par l'équation différentielle

$$\rho \frac{\partial^2 s}{\partial t^2} + \rho' \frac{\partial^2 s_1}{\partial t^2} = E \frac{\partial^2 s}{\partial r^2}, \tag{7}$$

de même forme que l'équation (2).

Un changement de variables identique à celui qui a été pratiqué plus haut conduit donc à une équation de même forme que l'équation (4), où l'on doit seulement remplacer x par r et v par $v\cos\alpha$.

La vitesse V dans l'éther libre, suivant une direction quelconque, est donc déterminée par l'équation

$$\rho V^2 + \rho'(V - v\cos\alpha)^2 = (\rho + \rho')V_0^2. \tag{8}$$

Posons

$$V = V_0 + k.$$

Nous avons, au degré d'approximation déjà adopté,

$$\rho(V_0^2 + 2kV_0) + \rho'(V_0^2 + 2kV_0 - 2v\cos\alpha V_0) = (\rho + \rho')V_0^2$$

ou

$$k = v\cos\alpha \frac{\rho'}{\rho + \rho'} = b\cos\alpha.$$

Si l'on désigne par n l'indice absolu du milieu où se propage la lumière, et par U_0 la vitesse de la lumière dans le vide, on a

$$\frac{\rho}{\rho + \rho'} = \left(\frac{V_0}{U_0}\right)^2 = \frac{1}{n^2},$$

et par suite

$$k = v\cos\alpha\left(1 - \frac{1}{n^2}\right).$$

Considérons un point S situé sur la droite OO′ dans le sens du mouvement de translation, à une distance du point O,

$$v\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)t.$$

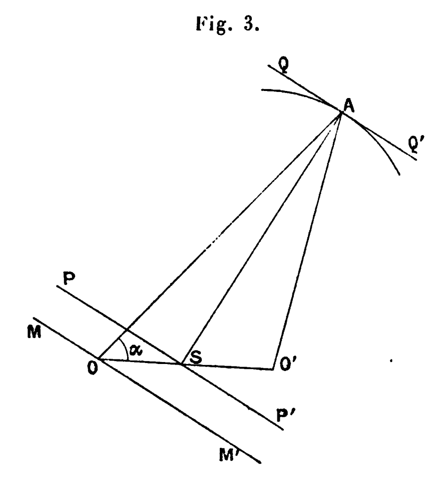
Désignons par l la distance SA. On a, en remarquant que $r = Vt$,

$$l = \left[V - v\cos\alpha\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)\right]t = V_0 t.$$

Donc le lieu géométrique des points qui, au même instant t, reçoivent le même ébranlement, c'est-à-dire la surface de l'onde émanée de O, est celle d'une sphère ayant pour centre le point mobile S et pour rayon le chemin parcouru $V_0 t$ dans le cas du repos.

En d'autres termes, l'ébranlement primitif se propage de la même manière que s'il avait pour origine exclusive un point S d'un

Fig. 3.



milieu fictif, animé par rapport à l'éther libre d'un mouvement de translation uniforme et rectiligne, de vitesse $b = v\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$, dans le sens de la translation de la matière, ce point coïncidant avec l'origine réelle de l'ébranlement à l'origine des temps.

Soit maintenant une onde plane initiale MM′ dont la normale fait un angle α quelconque avec la direction de translation. Au temps t, le lieu des points S, correspondant aux divers points O de cette onde plane, est un plan PP′ parallèle à MM′. L'onde propagée au temps t est l'enveloppe des ondes sphériques de rayon $l = V_0 t$ qui ont pour centres les différents points du plan PP′ : c'est donc encore un plan QQ′ parallèle à l'onde primitive MM′,

comme on pouvait le prévoir. La direction correspondante OA de la propagation de la lumière dans l'éther libre, à partir du point O, s'obtient en joignant ce point au point de contact A de l'onde QQ′ avec la sphère correspondante au point O. La lumière ne se propage donc pas perpendiculairement aux ondes planes dans l'éther libre, mais bien dans le milieu mobile fictif qui nous a servi à établir le mouvement. La vitesse V s'obtient en composant géométriquement la vitesse V_0 qui correspond au repos avec la vitesse b du milieu fictif.

D'autre part le point de l'éther condensé qui coïncidait avec O à l'origine des temps était venu en O′ au temps t, la direction relative des rayons lumineux par rapport à la matière en mouvement est O′A. C'est cette direction que nous percevons quand nous observons les phénomènes d'aberration, puisque l'observateur partage le mouvement de translation du globe terrestre. On a respectivement

$$SA = V_0 t, \qquad O'A = V't, \qquad O'S = O'O - SO = -(v-b)t = -\frac{v}{n^2}t.$$

On peut donc énoncer le théorème suivant :

La vitesse relative de propagation de la lumière par rapport à la matière en mouvement s'obtient en composant géométriquement sa vitesse V_0 *dans le cas du repos avec la vitesse* $\frac{v}{n^2}$ *prise en sens contraire du mouvement de translation.*

On peut déduire de ces résultats toutes les conséquences relatives à la réflexion et à la réfraction, en déterminant par la construction de Huygens la direction des ondes réfléchies ou réfractées.

Quand on change la longueur d'onde de la lumière considérée, l'on est conduit, comme l'a fait remarquer M. Potier, à attribuer au coefficient ρ' des valeurs variables, c'est-à-dire à faire varier la densité de l'éther condensé avec la nature de la lumière. Cette nécessité montre que l'hypothèse de Fresnel, tout en demeurant d'accord avec les faits, ne fournit pas une interprétation complètement satisfaisante du mécanisme réel de ces phénomènes, quand on considère l'éther comme une substance comparable à la matière ordinaire. Sans faire aucune hypothèse sur la véritable nature de

ce milieu, il convient seulement d'envisager l'hypothèse de Fresnel comme interprétant fidèlement l'entraînement des ondes lumineuses dans le mouvement de la matière.

SÉANCE DU 1er FÉVRIER 1895.

PRÉSIDENCE DE M. CAILLETET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le Procès-Verbal de la séance du 18 janvier est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. BENOIST, Professeur au Lycée Henri IV, à Paris.

MM. CORNU et MASCART, élus Membres honoraires, adressent leurs remercîments à la Société.

M. BOUTY, élu Vice-Président; M. PELLAT, réélu Secrétaire général; M. GAY, réélu Archiviste-Trésorier; M. CARVALLO, élu Vice-Secrétaire; MM. BOUDRÉAUX, P. CURIE, MASSIEU, A. POINCARÉ, DUHEM, MESLIN, MONTEFIORE et WIEDEMANN, élus Membres du Conseil, adressent leurs remercîments à la Société.

M. HURMUZESCU rend compte de ses recherches sur la *Force électromotrice d'aimantation*.

On connaît les expériences de Remsen relatives au dépôt chimique du cuivre sur une plaque de fer mince posée sur les deux pièces polaires d'un électro-aimant; on connaît aussi l'existence de la force électromotrice d'aimantation entre deux électrodes du même métal magnétique, plongées dans un même liquide susceptible de les attaquer et différemment aimantées; mais les résultats obtenus sur ce sujet par les différents opérateurs ne sont pas concordants.

M. Hurmuzescu, en employant des électrodes à petite surface de contact, bien polie et d'orientation déterminée par rapport au champ magnétique, et en se servant de l'électromètre capillaire pour la mesure des forces électromotrices, trouve des résultats concordants.

Il y a, suivant l'orientation de la surface de contact de l'électrode avec le liquide, deux cas à considérer.

1° Cette surface se trouve en dehors des pôles induits (cas d'une électrode à la Wollaston aimantée transversalement).

Dans ce cas, si l'électrode est en fer, la force électromotrice d'aimantation est telle que l'électrode aimantée est toujours positive par rapport à celle non aimantée; elle est indépendante du sens du champ magnétique comme aussi de l'acide employé et de son degré de concentration.

La courbe qui représente les variations de la force électromotrice avec le champ magnétique a une certaine parenté avec la courbe d'aimantation et correspondrait, au moins qualitativement, à la formule théorique

$$E = \frac{l}{\delta}\left(\frac{J^2}{2k} - \frac{J'^2}{2k'}\right),$$

si l'on connaissait les valeurs de la susceptibilité magnétique.

Pour le nickel la force électromotrice d'aimantation a le même sens que pour le fer; ses valeurs sont plus petites pour les mêmes champs magnétiques.

Pour le bismuth elle a un sens contraire, c'est-à-dire que le bismuth aimanté est plus attaquable par l'acide que le bismuth non aimanté.

2° La surface de contact de l'électrode est sur un des pôles formés par l'induction du champ; dans ce cas, deux dispositions sont à examiner :

(*a*) Le liquide ne contient pas de sel du corps magnétique, par exemple de sel de fer.

(*b*) Le liquide est riche en sel magnétique.

Dans la disposition (*a*) la force électromotrice d'aimantation est beaucoup plus petite, pour le même champ magnétique extérieur à l'électrode, que dans le cas examiné tout d'abord.

Dans la disposition (*b*), c'est-à-dire lorsque l'état magnétique du liquide n'est plus négligeable par rapport à l'intensité d'aimantation (qui, par suite de la force démagnétisante, peut être très petite). L'expérience montre que la force électromotrice est de sens contraire à ce qu'elle était dans le premier cas.

On rendrait compte de ce changement de signe si dans la formule précédente on supposait

$$\frac{J'^2}{k'} > \frac{J^2}{k}.$$

Ainsi dans tous les cas le fer devient positif par l'aimantation; on observe le même résultat pour le nickel et le contraire pour le bismuth.

M. P. Janet rappelle, à propos de la Communication de M. Hurmuzescu, le raisonnement très simple par lequel il a établi en 1887 l'influence du magnétisme sur les phénomènes chimiques. Voici ce raisonnement : Considérons un aimant permanent et un morceau de fer doux situé d'abord très loin de l'aimant, puis laissons le fer s'approcher sous l'influence des forces qui le sollicitent; nous recueillons ainsi un travail T. Lorsque le fer est dans le voisinage de l'aimant, combinons-le avec de l'acide sulfurique, par exemple : nous recueillons une quantité de chaleur Q; éloignons le sulfate de fer ainsi formé : nous ne dépensons pour cela aucun travail; enfin, très loin de l'aimant, décomposons de nouveau le sulfate de fer : nous devons lui fournir pour cela une quantité de chaleur Q'; le cycle est

fermé. On a, d'après le principe de l'équivalence,

$$T = E(Q' - Q).$$

T étant positif, Q' est plus grand que Q : donc la chaleur de combinaison du fer diminue dans un champ magnétique. On déduit de là que, dans une pile dont les deux électrodes sont en fer, le fer aimanté doit être positif par rapport au fer non aimanté : c'est ce qu'ont vérifié les expériences de M. Hurmuzescu. On en déduit encore que si l'on constitue une pile avec deux métaux, dont l'un est magnétique, et qu'on place cette pile dans un champ magnétique, la force électromotrice de cette pile doit diminuer si le métal magnétique est le pôle négatif, augmenter s'il est le pôle positif : c'est ce que vérifient les nombres suivants, empruntés à des expériences inédites faites par M. P. Janet, en 1887.

Pile : cuivre, eau, fer.

Non aimantée.	Aimantée.	Différences.
v 0,701	0,688	+0,013
0,709	0,697	+0,012
0,707	0,691	+0,018

Pile : nickel, eau, zinc.

0,681	0,688	−0,007
0,677	0,685	−0,008
0,671	0,680	−0,009
0,667	0,673	−0,006

Les champs magnétiques employés n'avaient pas été mesurés ; néanmoins on peut avoir une idée de leur ordre de grandeur en remarquant qu'ils étaient produits par un électro-aimant de Faraday excité par un courant de 10 à 15 ampères. En se servant des données de M. Leduc, pour calculer approximativement les champs magnétiques, on trouve que dans le cas de la pile à fer, les variations de force électromotrice sont du même ordre de grandeur que celles qu'a observées M. Hurmuzescu.

M. A. Broca présente, au nom de M. G. Weiss, un *focomètre universel.*

M. G. Weissa réalisé sous une forme très peu encombrante un instrument qui permet de mesurer la puissance d'un système centré, qu'il soit à sec ou à immersion, et que ce soit un microscope ou un objectif photographique, avec toute la précision que comporte le pointé d'une lunette astronomique et la mesure d'une longueur au moyen de la vis micrométrique.

Soit un objectif A, de distance focale connue. On pourra déduire de la grandeur d'une image formée en son foyer le diamètre apparent de l'objet à l'infini qui a donné cette image.

Soit maintenant un système optique B quelconque; plaçons en son foyer un objet lumineux de grandeur C déterminée; l'image de cet objet sera à l'infini et son diamètre apparent ne dépendra que de la distance focale f du système optique B; le diamètre apparent sera $\frac{C}{f}$.

Formons un système centré avec A et B. L'objet C étant placé au foyer du système B donnera dans ce système une image située au foyer de l'objectif A. Mesurons la grandeur de cette image; comme nous connaissons la distance focale de A, nous en déduirons le diamètre apparent de l'objet à l'infini qui lui a donné naissance. Or cet objet est lui-même l'image de la longueur C connue, placée au foyer du système optique B. Connaissant ces deux quantités, on en déduit facilement la distance focale du système B.

On aura donc réalisé un focomètre si l'on a le moyen de vérifier que l'objet C est bien au foyer du système B, et de mesurer avec précision la grandeur de l'image au foyer de l'objectif connu A. Les deux conditions sont réalisées en adjoignant à l'objectif A un réticule micrométrique qui lui est lié invariablement et un oculaire. L'ensemble forme une lunette astronomique exactement réglée sur l'infini. Fixons alors l'objet C, et déplaçons le système à mesurer B, jusqu'à ce que l'image observée dans A ne donne plus de parallaxe avec le réticule, puis mesurons la grandeur de l'image ainsi obtenue au moyen de la vis micrométrique; nous aurons toutes les données pour résoudre le problème.

L'objectif A a une puissance de 10 dioptries, c'est-à-dire 10^{cm} de distance focale. La vis micrométrique est au demi-millimètre et son tambour est divisé en 50 parties égales. L'objet C est 10^{cm}, 1^{cm}, 1^{mm}, ou un micromètre au centième de millimètre, suivant la puissance du système à mesurer. Dans ces conditions, si la grandeur de l'image au foyer de A a été trouvée de n divisions du tambour, c'est que le diamètre apparent de l'image à l'infini de C à travers B est $n \times 10^{-4}$. Ce diamètre apparent est le quotient de la grandeur de C par la distance focale cherchée f. Si nous prenons pour unité la grandeur de C, c'est-à-dire le décimètre, le centimètre, le millimètre, le dixième ou le centième de millimètre suivant le cas, la puissance du système mesuré sera toujours donnée par $\frac{1}{f} = n \times 10^{-4}$.

Le même instrument peut servir pour les objectifs photographiques et ceux de microscope. Pour cela, il est au diamètre des tubes de microscopes et peut être mis à la place de l'oculaire. On mesure alors la puissance de l'objectif, qu'il soit à sec ou à immersion. On peut aussi, en plaçant l'instrument au-dessus de l'oculaire, mesurer la puissance du système total objectif et oculaire. Enfin, au moyen d'une pièce de raccordement, on peut le placer dans une des bonnettes du banc d'optique pour les mesures de grandes distances focales. Pour les mesures de lentilles divergentes, il suffit de produire, au moyen d'une lentille quelconque, une image réelle de l'objet étalon, et d'opérer avec cette image comme dans le cas précédent.

Il faut que l'objectif du focomètre soit exactement étalonné. Pour cela, on le forme de deux lentilles, d'un peu plus de 5 dioptries, qu'on écarte jusqu'à ce que le système ait juste 10 dioptries. On peut vérifier l'appareil en mesurant au goniomètre le diamètre apparent d'une mire éloignée, et mesurant au micromètre la grandeur de l'image de cette mire.

Un petit détail de construction facilite le compte du nombre entier de tours du tambour : c'est un cliquet qui produit un léger son toutes les fois que le zéro du tambour passe au repère : de la sorte les erreurs sont à peu près impossibles.

Force électromotrice d'aimantation ;

PAR M. HURMUZESCU.

En 1881, M. Remsen découvrit que le fer aimanté est moins attaqué par un acide que le fer non aimanté. Pour répéter son expérience, dans une petite cuve en fer mince posée à cheval sur les deux pôles d'un gros électro-aimant de Faraday on versera une solution de sulfate de cuivre. Le cuivre est remplacé dans la liqueur par le fer, mais au lieu de se déposer partout également, comme lorsque cette action se produit en dehors du champ magnétique, on observe que le dépôt se fait suivant des lignes normales aux lignes de force, et que là où l'aimantation est plus forte le cuivre se dépose moins et que, par conséquent, le fer le plus aimanté est le moins attaqué par l'acide.

Cette expérience a été le point de départ de toute une série de recherches de la part de nombreux savants. Ils ont cherché si le fer aimanté devient plus ou moins attaquable et si l'électrode aimantée devient positive ou négative par rapport à l'électrode non aimantée.

Les avis ont été partagés, et tandis que MM. Gross, Nichols, Franklin et Andrews ont trouvé que le fer le plus aimanté était négatif par rapport au fer le moins aimanté, les expériences de MM. Rowland et Bell, Squier, les recherches théoriques de M. Janet et de M. Duhem donnaient justement le contraire.

J'ai renouvelé ces expériences et j'ai cherché si, entre deux électrodes du même métal magnétique, plongées dans le même liquide actif et différemment aimantées, il y a une force électro-

motrice; quel est son sens et quelle est la forme de sa relation avec l'intensité d'aimantation ou plutôt avec le champ magnétique.

En reprenant ces expériences, j'ai pensé qu'on pouvait supprimer au moins une partie des causes d'erreur, en employant pour mesurer les forces électromotrices l'électromètre capillaire à la place du galvanomètre employé par tous les précédents expérimentateurs.

L'emploi de l'électromètre permet d'abord d'avoir un liquide contenant très peu d'acide; de cette manière l'attaque de l'électrode est très lente et par conséquent beaucoup plus régulière, et l'on supprime les erreurs provenant des polarisations des électrodes comme aussi celle de la variation de la résistance par suite de l'orientation, dans le champ magnétique, des sels magnétiques formés par l'action chimique. D'un autre côté, les électrodes à grande surface de contact introduisent d'autres causes d'erreur, par suite du manque d'homogénéité des corps solides et des courants particulaires qui prennent naissance entre les parties de l'électrode différemment aimantées.

J'ai donc employé des électrodes en fils de 1^{mm} de diamètre au plus, préparées à la Wollaston et dont le bout était bien poli sur du papier d'émeri fin. Une demi-heure après cette opération, les deux électrodes étaient fixées dans les deux branches verticales d'un tube en verre T (*fig.* 1) plié à angle droit à ses extrémités.

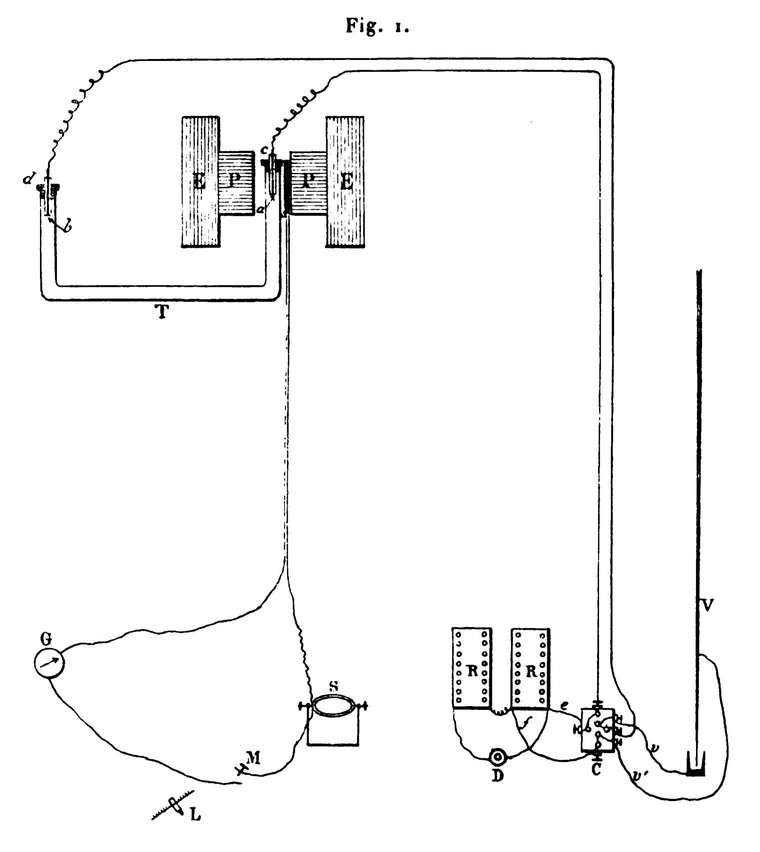
La branche verticale qui contenait une des électrodes, *c* par exemple, se trouvait entre les pièces polaires P, P d'un électro-aimant, mais sans les toucher; l'autre électrode *d* se trouvait en dehors du champ. Les électrodes *c* et *d* étaient réunies par des fils métalliques à un commutateur bien isolé C. Au même commutateur arrivent deux fils *e* et *f* qui amènent une force électromotrice d'une fraction de Daniell et les deux électrodes *v* et *v'* d'un électromètre capillaire V sensible au dix-millième de volt.

On évalue les forces électromotrices par compensation en employant l'électromètre capillaire comme appareil de zéro. La mesure du champ magnétique se fait par la méthode du galvanomètre balistique.

Avant de commencer chaque série d'expériences, on attendait que la pile, formée ainsi de deux électrodes semblables dans un

même liquide, eût atteint un état permanent, c'est-à-dire que la force électromotrice parasite eût une valeur constante.

Fig. 1.



Les expériences ont porté sur le fer, le nickel et le bismuth.

On a employé de préférence des dissolutions très faibles d'acide acétique et d'acide oxalique. Dans ces conditions le système peut être conservé plusieurs jours sans changer notablement d'état. Mais il est indispensable que l'eau distillée employée pour la dissolution soit pure et exempte d'air, que tout l'appareil soit bien propre et surtout les surfaces de contact.

Résultats généraux. — Les résultats diffèrent :

1° Suivant que la surface par laquelle l'électrode prend contact

avec le liquide est une partie de l'électrode où la densité magnétique superficielle due à l'induction est nulle ;

2° Ou que cette surface de contact se trouve sur l'un des pôles formés.

Prenons le premier cas (électrode à la Wollaston normale au champ magnétique). En excitant le champ dans l'électro-aimant on constate, par l'électromètre, une force électromotrice qui augmente jusqu'à une valeur maximum où elle s'arrête, ou parfois diminue très lentement de quelques dix-millièmes de volt. Quand on supprime le champ, l'électromètre revient vite à son zéro et le dépasse en sens contraire d'une quantité d'autant plus grande que la baisse à partir de la force électromotrice maximum a été plus grande.

La force électromotrice d'aimantation est indépendante du sens du champ magnétique, de la nature de l'acide et de sa concentration, ainsi que de la richesse du sel formé.

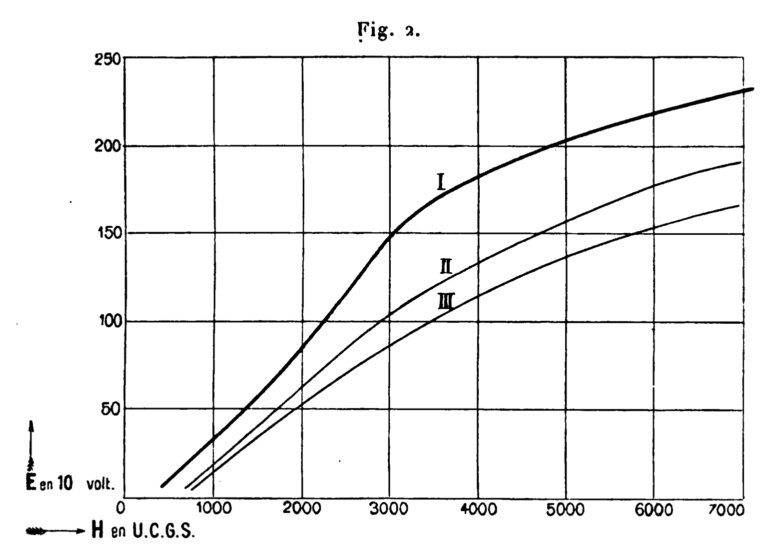
Fer. — L'électrode en fil de fer préparée à la Wollaston et disposée normalement au champ magnétique. L'électrode aimantée est toujours positive par rapport à l'autre.

Voici les différentes valeurs de la force électromotrice E, exprimées en dix-millièmes de volt pour les différentes valeurs du champ magnétique H exprimées en unités C. G. S. (courbe n° 1).

E.	H.
5	397
22	737
44	1263
72	1781
87	2038
106	2268
113	2452
124	2512
155	3068
165	3321
172	3682
176	3718
198	4729
210	5436
222	6240
229	7042

La courbe construite en prenant E comme ordonnée et H comme abscisse (*fig.* 2), présente un point d'inflexion vers H = 2400; elle a une certaine ressemblance avec la courbe d'intensité d'aimantation en fonction du champ magnétique.

Fig. 2.



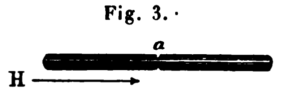
Dans toutes les expériences faites avec un grand nombre d'électrodes, l'allure de la courbe est toujours la même avec un point d'inflexion plus ou moins prononcé.

Quand la force électromotrice d'aimantation diminue à partir de sa valeur maximum (probablement à cause d'un défaut quelconque de la surface de contact) les deux courbes construites en prenant soit la valeur maximum de la force électromotrice ou la valeur finale ont la même allure, comme dans l'exemple suivant :

E_m.	E_e.	H.
188	165	6953
184 (courbe 2)	161 (courbe 3)	6568
177	152	5871
171	145	5582
153	130	4804
130	111	3849
107	89	3080
83	73	2454
65	57	2141
51	45	1732
25	23	1227
5	4	722

On a aussi employé une électrode disposée suivant le champ magnétique, formée par un fil de fer couvert d'un enduit isolant, sauf une partie circulaire en son milieu par où elle prenait contact avec le liquide (*fig.* 3). Les résultats moins réguliers sont encore les mêmes.

Fig. 3.

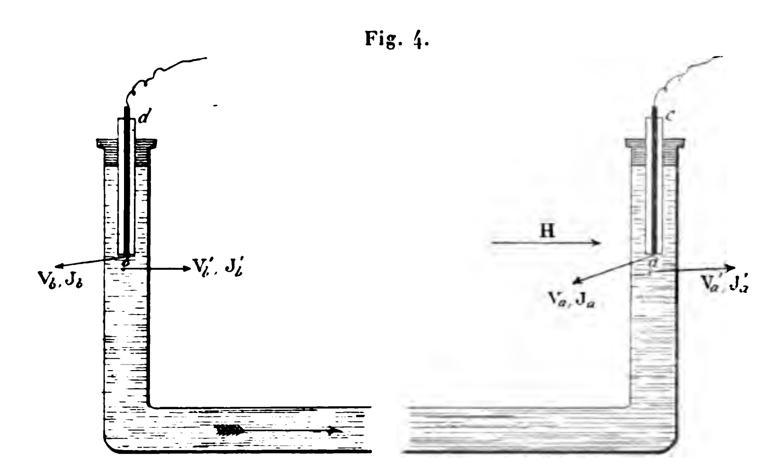


Nickel. — Les résultats sont analogues, seulement la courbe obtenue ne présente pas de point d'inflexion. Les forces électromotrices sont de l'ordre du millième de volt pour les champs magnétiques moyens employés.

Bismuth. — La force électromotrice n'atteint que quelques dix-millièmes de volt pour les plus forts champs employés; mais elle est de sens contraire, c'est-à-dire que l'électrode aimantée en bismuth devient négative par rapport à celle non aimantée.

Formule théorique de la force électromotrice d'aimantation. — Soit un système (*fig.* 4) composé de deux électrodes *a*

Fig. 4.



et *b*, en fer doux par exemple, plongées dans un liquide quelconque capable de les attaquer. Si l'on introduit entre ces électrodes une différence d'aimantation, il se produit entre elles une force électromotrice. Supposons que le courant qui prend naissance aille de *b* vers *a* à travers le liquide.

Soient V_a, I_a le potentiel électrique et l'intensité d'aimantation sur l'électrode a;

V'_a, I'_a ces quantités dans le liquide près de a;
V'_b, I'_b ces quantités dans le liquide près de b;
V_b, I_b ces quantités sur l'électrode de b.

Supposons toutes ces quantités constantes autour des points considérés.

Pour une quantité dq d'électricité qui passe de b vers a, il y a une quantité $l\,dq$ de fer qui est dissoute en b, et une autre $l_a\,dq$ déposée en a.

En négligeant les variations de l'intensité d'aimantation provenant du déplacement de ce volume de fer, que nous pouvons considérer comme négligeable, la variation totale de l'énergie magnétique est

$$\frac{I'^2_b}{2k'_b}dv' - \frac{I^2_b}{2k_b}dv + \frac{I^2_a}{2k_a}dv_a - \frac{I'^2_a}{2k'_a}dv'_a.$$

Cette énergie doit se retrouver totalement sous forme de travail électrique, si l'on suppose qu'il n'y a pas d'autre transformation ni mécanique, ni physique, ni calorifique.

Le travail électrique est $(V_b - V'_b + V'_a - V_a)\,dq$. Si l'on suppose que b est en dehors du champ magnétique, son aimantation est nulle

$$I_b = I'_b = 0;$$

en remplaçant

$$dv_a = \frac{l_a dq}{\delta},$$

$$dv'_a = \frac{l'_a dq}{\delta'}$$

et

$$E = (V_b - V'_b + V'_a - V_a),$$

on a, en supprimant les indices,

$$(1) \qquad E = \frac{I^2}{2k}\frac{l}{\delta} - \frac{I'^2}{2k'}\frac{l'}{\delta'};$$

comme I^2 est de beaucoup supérieur à I'^2 dans le cas particulier que nous avons considéré (le premier cas de nos expériences), E est positif; donc, l'électrode la plus fortement aimantée est positive.

Dans l'expression (1), l et l' sont les équivalents électrochimiques, δ et δ' les densités spécifiques, k et k' les valeurs moyennes de la susceptibilité magnétique dans l'électrode a et dans le liquide peu magnétique qui l'entoure.

Comme on a supposé que le fer dissous en b se dépose au même état en a, on a $l = l'$ et $\delta = \delta'$

$$E = \frac{l}{2\delta}\left(\frac{I^2}{k} - \frac{I'^2}{k'}\right). \tag{2}$$

1° Dans le premier cas de nos expériences, c'est-à-dire lorsque la surface de contact de l'électrode est en dehors des pôles formés par l'induction, I' est très petit devant I, et alors on a la formule

$$E = \frac{l}{2\delta}\frac{I^2}{k}. \tag{3}$$

Cette expression satisfait au moins qualitativement à la relation trouvée par l'expérience.

On peut aussi envisager autrement les choses : on sait que les corps magnétiques éprouvent des déformations mécaniques, et l'on peut se demander si, à côté ou à la suite de ces modifications, il n'y en a pas d'autres spécifiques, comme par exemple certaines modifications chimiques dont la force électromotrice produite serait la conséquence [1].

Dans ce cas, l'équivalent électrochimique et la densité spécifique seraient fonctions de l'intensité d'aimantation.

La force électromotrice d'aimantation serait exprimée par la formule

$$E = \frac{I^2}{2k}\frac{l}{\delta} - \frac{I'^2}{2k'}\frac{l'}{\delta'}. \tag{1}$$

2° Prenons maintenant le second cas du dispositif expérimental, c'est-à-dire lorsque l'électrode aimantée prend contact avec le liquide par une portion de sa surface, où il y a une densité magnétique superficielle due à l'induction du champ. C'est, par

---

[1] Dans des expériences, que j'exposerai plus tard, j'ai pu voir que les sels de fer en dissolution aqueuse éprouvent une contraction de volume dans le champ magnétique.

exemple, le cas de l'électrode en fer à la Wollaston, disposée suivant le champ magnétique.

Dans ce dispositif, il faut considérer deux cas limites :

a. Le liquide employé est riche en sel de fer;
b. Le liquide ne contient pas de trace de sel de fer.

Dans le cas *a*, l'électrode qui se trouve dans le champ magnétique est négative par rapport à celle qui est en dehors du champ magnétique.

Dans le cas *b*, l'électrode qui est dans le champ magnétique est positive, mais la force électromotrice est très petite.

Entre ces deux cas limites on peut obtenir tantôt l'une, tantôt l'autre de ces deux forces électromotrices, suivant les circonstances de l'expérience.

Mais on voit ici que, dans ce second cas, on ne peut plus négliger l'état magnétique du liquide, comme dans le premier cas : ainsi avec une électrode en fer, à la Wollaston, dans du sulfate de fer :

1° Électrode normale au champ, on a obtenu

$$E = 108,$$
$$H = 4610;$$

2° Le même système, on dispose l'électrode suivant le champ : on a

$$E = -32, \qquad H = 4610.$$

Mais, pour que l'intensité d'aimantation dans l'électrode ait exactement la même valeur dans les deux cas, on a employé des électrodes en fil de fer enduites d'une matière isolante sauf sur une petite portion *a*, voisine de son milieu, par où elle prenait contact avec le liquide. L'électrode étant aimantée transversalement, on pouvait orienter la normale à la surface de contact : 1° à 90° du champ magnétique; ou 2° suivant le champ. Un système pareil, formé de fer et acide oxalique, a donné

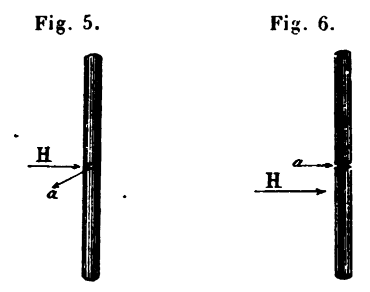
Dans la première disposition (*fig.* 5)....	114	5320
Dans la seconde disposition (*fig.* 6).....	19	»

Si l'on mettait dans le liquide du sulfate de fer, la première me-

sure ne changeait pas, mais la seconde devenait

$$E = -27.$$

Donc, dans ce dernier cas, il faut tenir compte aussi de l'état magnétique du sel de fer. En effet, lorsque la surface de contact



de l'électrode est sur un des pôles formés, à cause de la force démagnétisante, l'intensité d'aimantation sur cette surface même peut avoir une valeur très petite, et il suffirait que, dans la formule

$$(2) \qquad E = \frac{l}{2\delta}\left(\frac{I^2}{k} - \frac{I'^2}{k'}\right),$$

on eût

$$\frac{I'^2}{k'} > \frac{I^2}{k},$$

pour que E changeât de signe et devînt négatif.

De cette manière on pourra rendre compte de la contradiction apparente des résultats de différents auteurs.

SÉANCE DU 15 FÉVRIER 1895.

PRÉSIDENCE DE M. CAILLETET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le Procès-Verbal de la séance du 1er février est lu et adopté.

Est élu Membre de la Société :

M. TERMIER, Ingénieur des Mines, Professeur à l'École nationale des Mines.

A propos du focomètre présenté par M.G. WEISS, dans la dernière séance, M. CALMETTE, Professeur au Prytanée militaire de La Flèche, adresse une

lettre dans laquelle il fait remarquer qu'il emploie depuis deux ans et indique à son cours une méthode fort analogue à celle de M. Weiss. La principale différence est qu'au lieu d'une vis micrométrique, déplaçant un réticule oculaire, il emploie un micromètre ou quelquefois une plaque photographique.

Étude sur l'absorption de la lumière par les cristaux. — L'appareil employé par M. Camichel est une modification du spectrophotomètre de M. Gouy (voir *Annales de Chimie et de Physique,* 5e série, t. XVIII, 1879).

On enlève les deux nicols de cet appareil. L'un des collimateurs A est éclairé par un faisceau de rayons parallèles qui traverse deux nicols croisés; entre ces deux nicols, se trouve un compensateur Soleil, qui permet de faire tourner d'un angle connu le plan de polarisation d'une radiation déterminée. Quand la rotation du plan de polarisation due au compensateur est 90°, l'intensité du faisceau pénétrant dans le collimateur A a sa valeur maxima.

I. Quand la rotation est α, l'intensité de ce faisceau devient $I \sin^2 \alpha$.

Devant le deuxième collimateur B, on place la matière absorbante : elle est maintenue par des supports spéciaux munis de mouvement de réglage et de rotation, et entourée d'un liquide de même indice, pour éviter les pertes de lumière *par réflexion.*

Détermination d'un coefficient de transmission pour une couleur déterminée. — On amène à l'égalité les deux plages monochromatiques du spectrophotomètre :

1° En mettant devant la fente du collimateur B la matière absorbante, soit α la rotation du plan de polarisation due au compensateur;

2° En enlevant la matière absorbante, soit α la rotation correspondante due au compensateur.

Le coefficient de transmission du cristal pour la radiation étudiée est

$$x = \frac{\sin^2 \alpha'}{\sin^2 \alpha};$$

les nombres trouvés concordent généralement au $\frac{1}{100}$.

Les avantages de cette disposition sont nombreux :

Les plages monochromatiques sont très étendues;

Leur ligne de démarcation disparaît *complètement,* quand l'égalité est obtenue;

La portion utilisée du cristal est très faible : c'est une fraction de millimètre carré;

La sensibilité de l'appareil peut être déterminée très facilement.

On vérifie l'homogénéité des cristaux par deux méthodes différentes :

1° En étudiant une plaque normalement aux grandes faces du cristal;

2° Si le cristal est parallèle à un plan principal, on le fait tourner autour

d'un des axes principaux d'élasticité optique; si l'homogénéité est complète on doit avoir

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\frac{z \times m}{\cos \alpha}}$$

I_0 désigne l'intensité de la lumière incidente;
I l'intensité de la lumière émergente;
z l'épaisseur;
m une constante;
α l'inclinaison du cristal sur l'axe du collimateur B.

Conclusions. — 1° Les équations de vibration de l'éther dans les milieux étudiés : tourmaline, épidote, ferricyanure de potassium, andalousite, sont linéaires.

2° Une seule exponentielle suffit pour représenter l'absorption d'une vibration oblique par rapport aux axes d'élasticité optique, et la théorie de l'ellipsoïde d'absorption représente bien les phénomènes dans les cristaux symétriques.

3° Pour les cristaux dissymétriques, la théorie de l'ellipsoïde d'absorption telle qu'on l'a fait d'ordinaire ne convient pas : il faut du moins admettre que les axes de l'ellipsoïde d'absorption ne coïncident pas avec ceux d'élasticité optique; avec cette restriction, la théorie de l'ellipsoïde d'absorption représente bien les phénomènes.

4° L'obliquité des axes d'absorption maxima et minima avec les directions principales d'élasticité optique (pour les vibrations situées dans le plan de symétrie, dans le cas des cristaux clinorhombiques, et pour les vibrations situées dans n'importe quel plan principal pour les cristaux tricliniques) est un fait général dans les cristaux naturels et dans les cristaux à coloration *propre*. Les cristaux soumis à l'expérience sont : l'épidote, le sulfate double de cuivre et de cobalt, le sulfate double de potassium et de cobalt et l'axinite.

Dans les cristaux dissymétriques colorés artificiellement (sel de De Senarmont) les maxima et minima d'absorption coïncident au contraire avec les axes d'élasticité optique.

M. Carvallo fait l'éloge de la méthode expérimentale exposée par M. Camichel et ajoute que les résultats obtenus sont d'accord avec la théorie et les expériences antérieures, pourvu qu'on écarte quelques expériences entachées d'erreurs systématiques reconnues, notamment celles de M. Ramsay.

Puis il résume une théorie conduisant à ces résultats et basée sur l'introduction de dérivées d'ordre impair dans les équations de la lumière. Cependant la loi de l'ellipsoïde d'absorption de Mallard ne se vérifierait que grâce au peu de précision des mesures photométriques et à la faible biréfringence des cristaux employés : une loi plus exacte devrait être substituée à celle de l'ellipsoïde d'absorption.

M. Carvallo explique enfin que la superposition du pouvoir rotatoire à l'absorption aurait pour effet de rendre obliques entre eux les axes principaux d'absorption. Quoique ce cas n'ait pas encore été observé, son existence est probable.

Ces résultats feront l'objet d'un Mémoire dont les principaux éléments *théoriques et expérimentaux* ont été observés par l'auteur en 1892-93, comme en témoigne un pli cacheté déposé à l'Académie des Sciences à la date du 2 mai 1892.

M. Janet présente au nom de M. Marchis un nouveau thermomètre à réservoir en platine : ce réservoir cylindrique, sans soudure, ayant un demi-millimètre d'épaisseur, est soudé directement à la tige du thermomètre. Le remplissage présente quelques difficultés, le mercure s'amalgamant avec le platine au-dessus de 150°. On emploie l'artifice suivant : le vide est fait dans l'appareil, le réservoir étant porté au rouge; on le laisse refroidir, puis on fait entrer le mercure. L'auteur montre par quelques expériences que le vide règne bien à l'intérieur de l'appareil, et qu'il n'y existe ni air, ni amalgame. Les propriétés de ce thermomètre sont les suivantes :

1° Il se met très rapidement en équilibre de température avec l'enceinte dans laquelle il est plongé;

2° Son zéro est absolument invariable. Pour le prouver, l'auteur a effectué les cycles d'opérations que l'on trouvera dans le Mémoire inséré dans le *Bulletin* (p. 58). Ces nombres montrent que le zéro est invariable à $\frac{1}{1000}$ de degré près.

Malgré les résultats très remarquables obtenus par M. Marchis, dans la construction de son nouveau thermomètre, M. Guillaume craint que des difficultés pratiques, tant dans sa construction que dans son emploi, n'en limitent beaucoup l'usage. L'ingénieuse protection du réservoir, qui paraît nécessaire, si l'on veut le soustraire aux efforts qui finiraient par mettre l'instrument hors d'usage, peut devenir une source d'ennuis dans certains cas, et en particulier dans la détermination du zéro, qui oblige à tasser la glace râpée autour du réservoir. L'attaque lente du réservoir par le mercure est aussi à craindre dès que l'on maintiendra l'instrument pendant un temps prolongé à des températures voisines de 100°. Les variations du zéro des thermomètres sont, sans doute, un défaut important de ces instruments; mais, connaissant les lois de ces déplacements, on en débarrasse facilement les résultats. Lorsque les thermomètres en verre dur ont quelques années d'existence, le zéro ne se déplace plus que de quantités insignifiantes de l'ordre du millième de degré dans le courant d'une année; quant aux variations accidentelles, il est aisé de les calculer. Il est assurément très désirable de posséder des thermomètres à zéro invariable, mais le principal avantage du thermomètre à réservoir de platine réside probablement dans la plus grande rapidité de ses indications. Cette pro-

priété peut devenir très importante pour les observations météorologiques et physiologiques. Dans un Mémoire récent, M. Buchanan a montré que les variations de la température de l'air pendant le *fœhn* sont trop rapides pour que les thermomètres ordinaires puissent les suivre, et a exprimé le désir de posséder des instruments beaucoup plus rapides. Le thermomètre de M. Marchis correspondrait sans doute à ce but.

M. Guillaume rappelle que la divergence des thermomètres à mercure permet de calculer avec une grande précision la différence des coefficients supérieurs de la formule exprimant la dilatation relative du mercure dans l'enveloppe, ou des diverses enveloppes entre elles. Ce procédé est le seul qui ait permis jusqu'ici de mettre en évidence l'existence de termes en t^3 et t^4 dans le polynome de dilatation, entre 0° et 100°. En donnant au thermomètre à réservoir de platine une forme particulière, pour éliminer les réactions élastiques entre la tige et le réservoir, on pourrait l'utiliser pour comparer la formule de dilatation du platine à celle du mercure.

Le procédé particulier de soudure du platine au verre dur sur un aussi gros diamètre pourrait sans doute être utilisé dans la construction des lampes à incandescence, pour lesquelles on n'a pas pu jusqu'ici obtenir un pareil résultat.

M. Cailletet rappelle à la Société qu'il a fait avec M. Chabaud de nombreux essais pour obtenir des thermomètres médicaux à réservoir de fer ou de platine. La soudure entre le métal et le verre se faisait au moyen du procédé particulier que M. Cailletet a présenté à la séance du 19 décembre 1890.

M. Gariel signale que, il y a douze ou quinze ans, dans le but d'obtenir pour l'usage médical des thermomètres donnant des indications rapides, il a fait construire des modèles dans lesquels le platine était employé pour le réservoir, mais il ne donna pas suite à son idée, parce qu'on ne put obtenir une soudure satisfaisante du platine au verre.

Absorption de la lumière dans les cristaux;

Par M. C. Camichel.

Pour mesurer l'absorption de la lumière, on se sert de spectrophotomètres. Parmi ces appareils, celui de M. Gouy (¹) est particulièrement commode : les deux plages contiguës qu'on amène à

(¹) Gouy, *Ann. de Chim. et de Phys.*, 5ᵉ série, t. XVIII; 1879.

l'égalité proviennent de deux faisceaux de rayons parallèles sortant de deux collimateurs indépendants; on place le cristal devant la fente de l'un des deux collimateurs : l'intensité du faisceau qui traverse l'autre collimateur peut être atténuée dans un rapport déterminé. M. Gouy emploie à cet effet deux nicols placés l'un en avant, l'autre en arrière de la fente du collimateur; le premier est mobile au centre d'un cercle divisé. Le déplacement latéral du faisceau lumineux par le nicol mobile est corrigé au moyen d'une lentille excentrée par rapport à l'axe de rotation. Malheureusement cette correction n'est jamais complète : on n'est jamais sûr d'appliquer la loi de Malus en toute rigueur. Dans le dispositif que j'ai employé, j'ai préféré laisser *les deux nicols immobiles et faire tourner au moyen d'un quartz d'épaisseur variable le plan de polarisation de la lumière qui sort du premier nicol.*

1° *Description de l'appareil employé.* — Une lampe L (*fig.* 1) éclaire la fente f_1 d'un collimateur C_1. Les rayons parallèles sortant du collimateur traversent deux nicols N, N′ dont les sections principales sont à angle droit; le deuxième de ces nicols est mobile au centre d'un cercle divisé. Entre les deux nicols, et normalement aux rayons, se trouve un compensateur Soleil C en quartz droit, constitué par deux prismes de quartz de même angle, placés comme l'indique la figure; l'axe du quartz est parallèle aux rayons lumineux, l'un des prismes est mobile devant l'autre au moyen d'une vis munie d'un tambour divisé.

Le compensateur permet de faire tourner d'un angle connu le plan de polarisation d'une couleur déterminée; lorsque l'angle de rotation est $\frac{\pi}{2}$, l'intensité de cette couleur à la sortie du nicol N′ est maxima; soit I cette intensité. L'angle de rotation du plan de polarisation devenant α, l'intensité de la même couleur, à la sortie du nicol N′, devient

$$I \sin^2 \alpha.$$

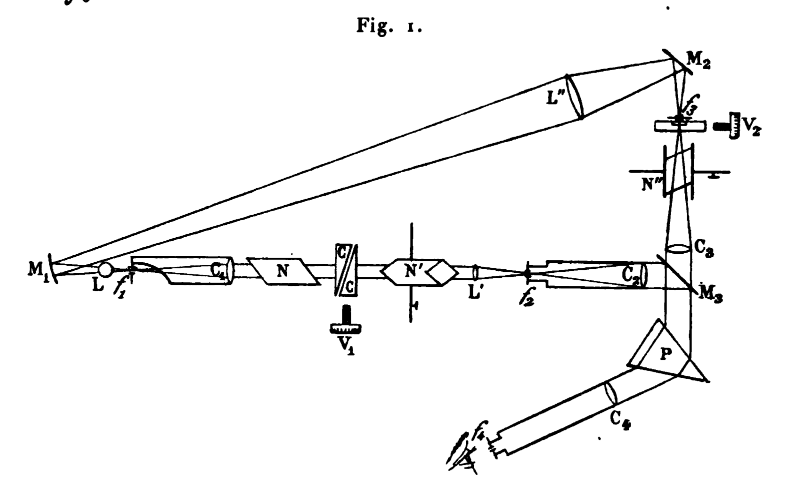
Après le nicol N′ se trouve une lentille L′ qui concentre les rayons lumineux sur la fente f_2 d'un collimateur C_2.

Un autre faisceau lumineux se réfléchit sur un miroir concave M_1, traverse une lentille convexe L″, tombe sur un miroir M_2

et forme sur la fente f_3 d'un collimateur C_3 une image réelle de la flamme de la lampe L.

Le cristal absorbant est placé entre f_3 et C_3, dans une cuve renfermant un liquide d'indice convenable. Cette cuve est posée sur le chariot d'une vis micrométrique. Derrière le cristal se trouve, en N″, un nicol mobile au centre d'un cercle divisé. En tournant la vis micrométrique V_2, on amène le cristal en regard de la fente f_3.

Fig. 1.



Devant l'objectif du collimateur C_3 se trouve une glace M_3 argentée sur la moitié de l'une de ses faces; la ligne l qui limite l'argenture est horizontale. Sur cette glace se réfléchissent les rayons sortis du collimateur C_2 dont l'axe rencontre la ligne l au même point que l'axe de C_3. La position du miroir M_3 est telle qu'un rayon qui suivrait l'axe de C_2 se réfléchirait sur le miroir suivant le prolongement de l'axe de C_3. Les rayons parallèles sortant du collimateur C_3, et ceux qui proviennent du collimateur C_2 et se sont réfléchis sur le miroir M_3, traversent un prisme de flint P et tombent sur une lentille C_4, munie dans son plan focal d'une fente f_4. D'après ce que nous venons de dire, lorsque les fentes f_2 et f_3 sont éclairées, on a dans le plan focal de la lentille C_4 deux spectres en coïncidence : l'un provient du collimateur C_2, l'autre du collimateur C_3. Ces deux spectres viennent se peindre dans le plan focal de la lunette C_4 sur un écran percé d'une fente f_4,

parallèle aux arêtes du prisme P et aux fentes f_2, f_3 des deux collimateurs.

La lunette C_4 n'a pas d'oculaire ; on met l'œil derrière la fente f_4 et, par une accommodation convenable, on voit à travers l'objectif C_4 deux demi-cercles lumineux de même couleur; le demi-cercle supérieur est la moitié supérieure de l'objectif de C_2 réfléchie par l'argenture de la glace M_3 ; le demi-cercle inférieur est la superposition de la moitié inférieure de l'objectif de C_3 vue directement, et de la moitié inférieure de C_2 réfléchie sur le verre de la glace M_3.

On peut amener les deux demi-cercles au même éclat en modifiant, au moyen d'un compensateur, l'intensité du faisceau qui tombe dans le collimateur C_2. Lorsque l'égalité est obtenue, la ligne de démarcation des deux plages disparaît complètement.

La fente f_4 a un demi-millimètre de hauteur et au plus un quart de millimètre de largeur; par suite, tous les rayons sortant de la lunette C_4 pénètrent dans l'œil, et l'éclat des deux plages contiguës ne dépend pas de la position de la tête de l'observateur. Ce dispositif a un très grand avantage : il permet d'étudier des cristaux de très petites dimensions; le cristal est placé devant la fente f_3 à une très petite distance de cette fente, et la région du cristal utilisée est l'image de la fente f_4 donnée par les lentilles C_4 et C_3 ; cette image a pour superficie une fraction de millimètre carré.

2° *Marche à suivre pour déterminer un coefficient d'absorption.* — Si l'on veut déterminer le coefficient d'absorption d'un cristal pour la lumière jaune du sodium, par exemple, on fixe la lunette C_4, de façon que la raie jaune du sodium se forme exactement sur la fente f_4.

On place devant la fente f_3 la partie de la cuve qui ne contient pas le cristal et, en tournant la vis V_1, qui fait varier l'épaisseur du compensateur, on amène à la même intensité les deux demi-cercles jaunes vus à travers la fente f_4.

Soit α la rotation imprimée aux vibrations jaunes par le compensateur dans sa position actuelle. Soient c et C les coefficients de réflexion du verre et de l'argent pour un angle d'incidence moitié de l'angle des axes de c_2 et de C_3. L'intensité de la plage

lumineuse supérieure est $CI \sin^2 \alpha$, I désignant l'intensité maxima de la lumière qui sort du collimateur e_2. Soit I' l'intensité de la lumière qui sort du collimateur C_3, l'intensité de la plage inférieure est $I' + cI \sin^2 \alpha$, et l'on a

$$CI \sin^2 \alpha = I' + cI \sin^2 \alpha.$$

En tournant la vis V_2, on amène la région intéressante du cristal devant la fente f_3; pour réaliser l'égalité des deux demi-cercles lumineux, il faut donner au compensateur C une nouvelle épaisseur, à laquelle correspond un nouvel angle α' de rotation des vibrations jaunes. Si K désigne le coefficient de transmission de la matière absorbante pour les rayons jaunes, on a la deuxième égalité

$$CI \sin^2 \alpha' = KI' + cI \sin^2 \alpha',$$

d'où

$$K = \frac{\sin^2 \alpha'}{\sin^2 \alpha},$$

en admettant que les intensités I et I' sont restées constantes ou, du moins, qu'elles ont varié dans le même rapport.

J'ai employé, comme source lumineuse, une lampe à pétrole à *verre cylindrique,* afin d'éclairer uniformément les objectifs des collimateurs et d'avoir des plages uniformes. On obtient très facilement une flamme bien régulière et bien constante en donnant au verre cylindrique une hauteur égale à cinq ou six fois son diamètre.

3° *Moyens de contrôle.* — J'ai vérifié par des procédés indirects que le procédé photométrique, qui vient d'être décrit, ne comportait pas d'erreurs systématiques.

La précision des mesures est limitée, seulement par la sensibilité de l'œil. Celle-ci peut être déterminée directement sur l'appareil pour chaque radiation du spectre; en prenant toutes les précautions nécessaires, l'œil peut apprécier, au voisinage de la raie D, une différence d'intensité de $\frac{1}{150}$.

L'homogénéité des cristaux soumis aux expériences a été vérifiée par deux méthodes :

1° Par l'étude d'une plaque normale aux grandes faces du cristal;

2° Par la méthode de la loi exponentielle; si, par exemple, nous voulons vérifier l'homogénéité d'une tourmaline parallèle à l'axe, nous la ferons tourner devant la fente f_3 du collimateur C_3, autour d'un axe de rotation parallèle à son axe optique, et nous chercherons si l'absorption de la vibration parallèle à l'axe de rotation peut être représentée par la formule

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\frac{z}{\cos\omega} \times m},$$

$\pm\,\omega$ désignant l'inclinaison du cristal sur l'axe du collimateur C_3,
m le coefficient d'absorption de la vibration parallèle à l'axe de rotation,
I_0 l'intensité de la lumière incidente,
I l'intensité de la lumière émergente.

4° *Résultats.* — L'étude des cristaux pléochroïques m'a donné les résultats suivants :

1° Les équations de vibration de l'éther, dans les milieux étudiés :

Tourmaline,
Epidote,
Ferricyanure de potassium,
Andalousite,

sont linéaires.

2° Une seule exponentielle suffit pour représenter l'absorption d'une vibration oblique, par rapport aux axes d'élasticité optique, et la théorie de l'ellipsoïde d'absorption représente bien les phénomènes dans les cristaux symétriques.

3° Pour les cristaux dissymétriques (clinorhombiques et tricliniques), la théorie de l'ellipsoïde d'absorption, telle qu'on la fait d'ordinaire, ne convient pas; il faut du moins admettre que les axes de l'ellipsoïde d'absorption ne coïncident pas avec ceux d'élasticité optique. Avec cette restriction, la théorie de l'ellipsoïde d'absorption représente bien les phénomènes.

4° L'obliquité des axes d'absorption maxima et minima avec les directions principales d'élasticité optique (pour les vibrations

situées dans le plan de symétrie, dans le cas des cristaux clinorhombiques et pour les vibrations situées dans n'importe quel plan principal pour les cristaux tricliniques) est un fait général dans les cristaux naturels et dans les cristaux à coloration propre.

Nous avons vérifié cette obliquité pour l'épidote, le sulfate double de cuivre et de cobalt, le sulfate double de potassium et de cobalt et pour l'axinite.

5° Dans les cristaux dissymétriques colorés artificiellement (sel de de Senarmont), les maxima et minima d'absorption coïncident, au contraire, avec les axes d'élasticité optique.

Tous les résultats obtenus *directement* ont été, en même temps, vérifiés par des méthodes indirectes ([1]).

Sur un nouveau thermomètre à zéro invariable;

PAR M. MARCHIS.

Le zéro d'un thermomètre à mercure, à tige et à réservoir de verre, subit des déplacements variables avec les conditions de température dans lesquelles l'instrument a été placé : ces variations, aujourd'hui bien connues, ont conduit les physiciens à adopter une méthode uniforme pour la détermination du zéro d'un pareil thermomètre.

Toutefois, si dans un thermomètre à mercure, à tige, on remplace le réservoir en verre par un réservoir en platine, on annule les variations du zéro, qui se trouve alors entièrement indépendant du cycle de transformations que l'on a pu faire subir à l'instrument. C'est ce thermomètre à zéro invariable que je me propose de aécrire ici.

1. *Description de l'instrument.* — Le thermomètre se compose :

([1]) L'appareil qui a servi pour toutes ces expériences m'a été très obligeamment prêté par M. le professeur Bouty; qu'il me soit permis de lui exprimer ici tous mes remercîments.

1° D'une tige en verre vert recuit Guilbert-Martin;

2° D'un réservoir de platine ayant la forme ordinaire des réservoirs de thermomètre et soudé directement sur la tige de verre [1]. Ce réservoir est fait sans soudure, ce qui a permis d'avoir une grande propreté intérieure et une absence complète de poussières; de cette façon, le thermomètre a pu être obtenu aussi bien fini que s'il était en verre. Pour empêcher le réservoir de se décentrer et le protéger contre les chocs, on l'entoure par un double anneau en verre formant la croix au-dessous; enfin cet anneau en verre est recouvert de toile de platine. Le thermomètre peut alors prendre la température du milieu dans lequel il est plongé, tout en ayant une fragilité assez faible.

Dans le thermomètre que j'ai étudié et qui est gradué au $\frac{1}{5}$, le réservoir de platine a 410^{mmc} à 415^{mmc} et la paroi a une épaisseur de $\frac{5}{10}$ de millimètre.

2. *Remplissage.* — Le remplissage présentait une difficulté particulière tenant à ce qu'on ne pouvait faire bouillir le mercure dans le réservoir, celui-ci étant attaquable dans ces conditions. La difficulté a été tournée en faisant le vide dans l'instrument au moyen d'une trompe; à cet effet, le tube étant plein d'air et le mercure introduit dans l'ampoule, on a fait le vide en portant le réservoir au-dessous du rouge sombre et faisant bouillir le mercure dans l'ampoule, l'instrument étant maintenu horizontal. On a laissé le réservoir se refroidir dans le vide jusqu'au-dessous de 150°, puis on a placé le thermomètre verticalement. A la fin de l'opération, on a dû éliminer de très petites bulles d'air en les faisant passer dans une chambre disposée à cet effet. On peut dès lors assurer que, dans ce thermomètre, le vide est aussi parfait que dans un thermomètre fait complètement en verre.

3. *Expériences montrant l'invariabilité du zéro.* — Je ne parlerai ici ni du calibrage du thermomètre, que je n'ai pu encore vérifier, ni de son coefficient de pression extérieure, que je n'ai

(1) Le thermomètre a été construit par M. Hémot, constructeur à Paris. Le réservoir de platine est dû à M. Golaz.

pu encore déterminer. Je me contenterai d'indiquer avec soin les expériences qui m'ont montré l'invariabilité du zéro du thermomètre. Le zéro a été déterminé dans la glace fondante, suivant la méthode bien connue; mais j'ai pris soin de me servir d'un cathétomètre bien réglé pour viser la distance du zéro marqué par le constructeur sur la tige au sommet de la colonne mercurielle, lorsque le thermomètre est dans la glace. J'ajouterai que les thermomètres sont construits depuis deux mois et que, depuis ce temps, j'ai fait sur eux un très grand nombre d'expériences dont je vais indiquer quelques-unes.

Au moyen d'une série de bains convenablement disposés, je puis porter le thermomètre à des températures très variables entre 0° et 100°, et cela dans un temps très court, le thermomètre prenant presque instantanément la température de l'enceinte dans laquelle il est plongé.

Dans une série d'expériences les thermomètres ont été portés aux températures suivantes :

Cycle de températures.	Durée de l'expérience (en minutes).	Thermomètres. 25912.	Thermomètres. 25911.
5°, 10°, 70°, 15°, 70°, Glace..............	3	0°	+0°,064
2°, 50°, 75°, Eau bouillante, Glace........	2	0	+0,065
5°, Eau bouillante, Glace, Eau bouillante, Glace, 70, Glace.....................	5	0	+0,064
10°, Glace, Eau bouillante, Glace, 50, 70°, Eau bouillante, Glace................	6	0	+0,065

En résumé, j'ai, pendant près de deux mois, varié des expériences analogues à celles que je viens de relater. Avec l'un des thermomètres je n'ai jamais pu déceler la moindre distance entre le sommet du mercure et le trait zéro marqué par le constructeur; avec l'autre thermomètre, j'ai trouvé le zéro à + 0°,064 et cela à $\frac{1}{1000}$ de degré près.

Je puis donc assurer que ni dans l'un ni dans l'autre des thermomètres étudiés le zéro n'a varié, malgré toutes les transformations subies par les instruments.

SÉANCE DU 1er MARS 1895.

PRÉSIDENCE DE M. CAILLETET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le Procès-Verbal de la séance du 15 février est lu et adopté.

M. le PRÉSIDENT annonce à la Société la perte douloureuse qu'elle vient de faire dans la personne de M. *Julien Brunhes*, Doyen de la Faculté des Sciences de Dijon.

M. le PRÉSIDENT donne lecture d'une lettre de M. CHABAUD relative à la Communication de M. Marchis (séance du 15 février). Depuis longtemps, M. Chabaud a réalisé des soudures directes entre tubes de platine et tubes de verre de différents diamètres; il adresse à la Société quelques-uns des échantillons obtenus et particulièrement des tubes capables de résister à la pression, utilisés par M. Villard. D'autre part, dès le mois d'août 1893, il a construit des thermomètres à réservoir en platine; mais de tels instruments ne lui semblent pas utiles pour l'usage ordinaire à cause des défauts déjà signalés, et si l'on veut les employer comme appareils à indication rapide, il faut leur donner un réservoir très mince, par suite trop facilement déformable. M. Chabaud envoie à la Société un modèle de thermomètre en verre, bien préférable pour cet usage; ce thermomètre, qui a un réservoir de $1^{mm},5$ de diamètre extérieur et de 11^{mm} de longueur, donne des indications presque instantanées.

Sur la pression intérieure et le viriel des forces intérieures dans les fluides. — M. AMAGAT rappelle d'abord en quelques mots les propriétés de la fonction $\pi = T\,\dfrac{dp}{dt} - p$, qu'il a précédemment étudiée, l'hypothèse qu'il a faite à son sujet, l'application qu'il en a faite au terme $\mathfrak{P}$ de la relation

$$(p + \mathfrak{P})(v - a) = RT. \tag{1}$$

Il examine ensuite les propriétés d'une autre forme de pression intérieure π' définie par les relations suivantes

$$KT = \frac{3}{2}pv + \frac{1}{2}W, \qquad W = \Sigma r\varphi(r), \qquad \text{(CLAUSIUS.)}$$

$$\frac{3}{2}pv + \frac{1}{2}W = \frac{3}{2}v(p + \pi').$$

La fonction π', d'après une démonstration due à M. Sarrau, doit être telle que $\pi' dv$ soit le travail intermoléculaire, si les dimensions des molé-

cules et l'amplitude des mouvements stationnaires sont très petites par rapport aux distances intermoléculaires; dans ce cas, les fonctions π et π' deviendraient égales; on peut, en effet, écrire dans cette hypothèse

$$dq = \mathrm{M}\,dt + \mathrm{A}(p+\pi')\,dv,$$

d'où $l=(p+\pi')\mathrm{A}$, d'où $\pi' = \mathrm{T}\,\frac{dp}{dt} - p = \pi$; tandis qu'au contraire les fonctions π et π' sont numériquement et théoriquement très différentes. On montre, en effet, facilement qu'on a à volume constant

$$\pi = \varphi(v), \qquad \pi' = -\varphi(v)\mathrm{T} + \mathrm{C}.$$

C'est du reste ce qui résulte des tableaux des valeurs de π et π'.

Par suite, l'hypothèse, si la théorie est applicable aux fluides, ne répond nullement à la constitution de ces corps.

M. Amagat montre ensuite comment les isothermes peuvent, par un choix convenable d'axe de coordonnées, donner une représentation très simple du viriel des forces intérieures [dont on montre facilement que la valeur est $\mathrm{W} = 3(p_0v_0 - pv)$, p_0v_0 étant l'ordonnée à l'origine de l'isotherme]. On trouve ainsi un lieu de points pour lesquels W et, par suite, $\varphi(r)$ est nul; ce lieu sépare le réseau en deux régions où ces fonctions sont de signes contraires.

Il serait naturel que la fonction π, si l'hypothèse faite à son sujet est exacte, quoique différente de π', s'annule comme elle en même temps que $\varphi(r)$; ce qui n'a pas lieu. Il paraît, du reste, rationnel de chercher à substituer à $\mathfrak{P}$, dans la relation (1), une fonction s'annulant en même temps que $\varphi(r)$; il y a là le sujet d'une étude que M. Amagat se propose d'entreprendre.

M. Broca indique une méthode qui permet de trouver le rayon de courbure de la surface focale conjuguée d'un plan normal à l'axe par rapport à un système optique centré quelconque, quand le pied du plan sur l'axe est un point aplanétique au quatrième ordre près du système. Il en conclut le théorème suivant, relatif au cas où le système proposé est composé de lentilles de même indice :

« La surface focale conjuguée d'un plan normal à l'axe a un rayon de courbure infini, quand on forme un système de puissance nulle avec des lentilles infiniment minces et infiniment voisines, présentant les mêmes rayons de courbure que les lentilles qui forment le système proposé. »

Il montre un système optique réalisé d'après ces principes, et qu'il doit au gracieux concours de M. Baille. Ce système vérifie exactement les calculs précédents, mais il n'est pas utilisable dans la pratique, car il présente une distorsion considérable, et que les lentilles très épaisses qui le composent absorbent une grande quantité de lumière.

M. G. Foussereau expose, à propos de la Communication de M. Broca, qu'il a étudié la forme des images produites par les lentilles infiniment minces et par les miroirs sphériques, dans le cas où ces appareils reçoivent sur la région centrale de leur surface les faisceaux lumineux venant des différents points du champ. Il en est ainsi pour tous les objectifs, quand les faisceaux ne sont pas limités par un diaphragme placé à distance.

Si l'on fait abstraction des phénomènes d'aberration introduits par les rayons marginaux, l'image d'un point P se compose de deux droites focales qui rencontrent l'axe secondaire correspondant en deux points différents P′ et P″, le premier fourni par les rayons contenus dans la section principale du point P, le second fourni par les rayons qui rencontrent la lentille dans un plan perpendiculaire à cette section.

En désignant par α l'angle de l'axe secondaire d'une lentille avec l'axe principal, on trouve que les positions des points P′ et P″ sont respectivement déterminées par les équations

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = \frac{1}{f\cos\alpha},$$

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = \frac{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} - \cos\alpha}{(n-1)f}.$$

Pour une lentille convergente, quand le lieu des points P est un plan perpendiculaire à l'axe principal, le lieu des points P′ est un hyperboloïde, un ellipsoïde ou un paraboloïde de révolution, suivant que le plan donné est en deçà ou au delà du plan focal principal ou coïncide avec lui. La surface focale est convexe dans le sens de la propagation de la lumière et présente à son sommet un rayon de courbure égal à $\frac{f}{2}$. Ces conclusions sont renversées pour une lentille divergente.

Le lieu des points P′ est constitué par des surfaces de même nature distribuées différemment, mais dont la courbure est de même sens que dans le cas précédent, le rayon de courbure au sommet ayant la valeur $\frac{n}{n+1}f$, c'est-à-dire des $\frac{3}{5}f$ dans le cas du verre.

Ces conclusions s'appliquent à un nombre quelconque de lentilles minces superposées, mais ne s'appliqueraient à des surfaces réfringentes écartées que si l'on supposait que tous les faisceaux lumineux traversent toutes ces surfaces dans leur région centrale, ce qui n'a pas lieu en général.

Le cristallin de l'œil qui est traversé dans sa région centrale par les faisceaux venant de tous les points du champ doit donner des images convexes vers la rétine, conformément aux règles énoncées. La cornée n'étant pas placée dans les mêmes conditions, la forme de sa surface peut intervenir pour modifier le résultat en ce qui le concerne. Il serait intéressant d'examiner si la courbure de la fosse centrale correspond à la courbure des images fournies par le cristallin.

Les miroirs concaves ou convexes donnent des résultats identiques à ceux des lentilles convergentes ou divergentes, en ce qui concerne le lieu du point p'. Mais le lieu des points p'' est toujours un plan.

Ces instruments doivent donc donner des images moins nettes que les lentilles, dès que l'on s'éloigne de l'axe principal, puisque, pour ces dernières, les deux surfaces focales ont des rayons de courbure peu différents.

Ces phénomènes sont indépendants des phénomènes d'aberration de sphéricité qui peuvent s'y superposer. Ils sont, par conséquent, indépendants de la forme des surfaces de révolution réfringentes ou réfléchissantes qu'on peut toujours remplacer par leur sphère osculatrice.

Sur la pression intérieure et le viriel des forces intérieures dans les fluides;

Par M. E.-H. Amagat.

I. Dans un récent travail relatif aux fluides, j'ai été conduit à substituer aux expressions généralement adoptées pour la pression intérieure $\mathfrak{P}$ de la relation

$$(p + \mathfrak{P})(v - a) = \mathrm{R}\mathrm{T}, \tag{1}$$

une fonction π dont les valeurs numériques sont données par la relation

$$\pi = \mathrm{T}\frac{dp}{dt} - p.$$

Cette pression intérieure (π), dans l'hypothèse où l'énergie intramoléculaire est fonction de la température seule, est telle que $\pi\, dv$ soit le travail intermoléculaire relatif à une variation de volume dv; elle prend, sous des pressions suffisamment grandes et après avoir passé par un maximum positif, des valeurs négatives de plus en plus considérables. Le fait de ces pressions négatives a paru tout d'abord singulier, sans doute par suite de l'habitude que l'on a de considérer comme essentiellement positif le terme $\mathfrak{P}$ de la relation (1). En réalité, le covolume dont la signification est encore fort obscure intervient dans cette relation comme le ferait une pression intérieure négative, qui agirait en sens contraire de

l'attraction intermoléculaire, et rien ne détermine *a priori* dans quelle proportion l'expression de ces actions antagonistes doit être répartie entre les termes ($\mathfrak{P}$) et (a); on pourrait à la rigueur faire rentrer dans $\mathfrak{P}$ tout l'effet du covolume : la fonction π laisse subsister un covolume fonction du volume seul. Les considérations qui suivent sont complètement indépendantes de la forme adoptée pour la relation (1).

II. Clausius a donné, dans l'hypothèse du mouvement stationnaire, la relation suivante dans laquelle K est une constante et W le viriel des forces intérieures :

$$(2) \qquad \mathrm{KT} = \frac{3}{2} pv + \frac{1}{2} \mathrm{W}, \qquad \mathrm{W} = \Sigma r \varphi(r).$$

La valeur de la pression intérieure doit évidemment dépendre de W, les valeurs numériques de ce viriel peuvent être obtenues ainsi qu'il suit. Considérons à la température T un fluide à l'état gazeux sous une pression p_0 assez faible pour que W puisse être considéré comme nul; soit v_0 le volume correspondant : on aura pour un point quelconque (pv) de la même isotherme

$$\frac{3}{2} p_0 v_0 = \frac{3}{2} pv + \frac{1}{2} \mathrm{W},$$

soit

$$\mathrm{W} = 3(p_0 v_0 - pv).$$

On pourra donc calculer facilement, au moyen des Tableaux que j'ai donnés, les valeurs de W pour une pression et un volume quelconques.

La relation (2) peut s'écrire

$$\mathrm{KT} = \frac{3}{2}(p + \pi')v \qquad \text{en posant} \qquad \mathrm{W} = 3\pi' v.$$

Le terme π', qu'on a également appelé *pression intérieure*, peut être facilement calculé puisque les valeurs de W sont connues.

Voici d'abord des Tableaux comparatifs des valeurs de π et de π'.

Valeurs de π *et* π' *sous les pressions* P.

	Hydrogène à 0°.			Azote à 0°.			Oxygène à 0°.		
P.	π.	π'.	$\pi - \pi'$.	π.	π'.	$\pi - \pi'$.	π.	π'.	$\pi - \pi'$.
atm	atm	atm	atm	atm	atm	atm	atm	atm	atm
100	1,5	— 6,4	7,9	26	0,9	25,1	34	7,9	26,1
150	6	— 14	20	51	— 1,3	52	88	14,2	73,8
200	9	— 24	33	92	— 7,5	100	135	40,7	94,3
250	12	— 37	49	127	— 19	146	300	18,4	182
300	14	— 52	66	176	— 36	212	260	11,7	248
350	16	— 69	85	212	— 57	269	318	— 1,4	319
400	16	— 88	104	250	— 82	332	383	— 19,5	303
500	15	— 131	146	313	— 140	453	496	— 66,6	563
600	12	— 172	184	371	— 206	577	589	— 127	716
700	3	— 234	237	413	— 279	692	671	— 194	865
800	8	— 293	285	447	— 355	802	745	— 268	1013
900	— 33	— 348	315	470	— 435	905	811	— 344	1155
1000	— 46	— 418	372	488	— 516	1004	877	— 424	1301
1500	— 143	— 775	632	513	— 948	1461	1149	— 844	1993
2000	—284	—1162	878	494	—1399	1893	1286	—1284	2570
2400	—410	—1488	1078	458	—1832	2290	1283	—1663	2946
2800	—578	—1823	1245	410	—2144	2554	1222	—2026	3248

	Acide carbonique à 40°.		
P.	π.	π'.	$\pi - \pi'$.
atm	atm	atm	atm
40	23,9	9,8	14,1
50	42,3	17,3	25,0
60	73,9	29,2	44,7
70	126	49,4	76,6
80	218	90,1	128
90	536	214	332
100	808	272	536
150	1290	303	987
200	1577	290	1287
300	1904	231	1673
400	2048	158	1890
500	2341	80,2	2261
600	2530	— 4,1	2534
700	2699	— 90,2	2789
800	2862	—179	2952
900	»	—267	»
1000	»	—355	»

Azote — π et π' à volume constant.

Volumes constant.	A zéro.			A 99°,5.			A 199°,5.		
	π.	π'	$\pi - \pi'$.	π.	π'	$\pi - \pi'$.	π.	π'	$\pi - \pi'$.
	atm	atm	atm	atm	atm	atm	atm	atm	atm
0,009910.....	26	— 0,9	25,1	26	— 8,2	34,2	26	— 17,2	43,2
0,005195.....	92	— 7,5	99,5	92	— 44,2	136	92	— 80,5	172
0,003786.....	176	— 35,9	212	176	—113	289	176	—186	362
0,003142.....	250	— 81,7	332	250	—202	452	250	—318	568
0,002780.....	313	—140	453	313	—306	619	319	»	»
0,002543.....	371	—206	577	371	—420	791	»	»	»

On voit que π' pour une température donnée, de même que π d'abord positif, croît d'abord avec la pression, passe par un maximum, décroît, s'annule et prend des valeurs négatives rapidement croissantes; mais, numériquement, ces deux séries de valeurs sont extrêmement différentes, π' devient bien plus rapidement négatif que π; il l'est pour l'hydrogène dès les pressions inférieures, il le devient pour l'acide carbonique alors que π est encore dans la région du maximum; la différence atteint près de 3000 atmosphères à 40°, sous une pression extérieure de 800 atmosphères.

Il est, du reste, facile de montrer de suite que les fonctions π et π' sont tout à fait différentes, si l'on admet comme approximation très suffisante ici que le coefficient de pression $\frac{dp}{dt}$ est fonction du volume seul. En effet, de

$$\pi = \mathrm{T}\frac{dp}{dt} - p, \qquad \pi' = \frac{\mathrm{W}}{3v} = \frac{p_0 v_0 - pv}{v} = \frac{p_0 v_0}{v} - p$$

on tire, à volume constant,

$$\frac{d\pi}{dt} = \mathrm{T}\frac{d^2 p}{dt^2} + \frac{dp}{dt} - \frac{dp}{dt} = 0, \qquad \frac{d\pi'}{dt} = -\frac{dp}{dt} = -\varphi(v),$$

$$\pi = \varphi(v), \qquad \pi' = -\varphi(v)\mathrm{T} + \mathrm{C}.$$

Ce sont bien les lois résultant du Tableau à volume constant.

III. D'autre part, M. Sarrau a montré que, dans le cas où le volume des molécules et l'amplitude des mouvements stationnaires seraient très petits relativement aux distances intermoléculaires,

le produit $\pi' dv$ représenterait le travail intermoléculaire relatif à la variation de volume dv.

Ce résultat va permettre d'examiner la question de savoir si l'hypothèse en question est réalisée dans les fluides, si elle l'est approximativement ou bien encore dans certaines limites seulement.

On voit d'abord que si l'énergie moléculaire est fonction de la température seulement, ainsi que je l'ai supposé ci-dessus à propos de π, $\pi\, dv$ sera comme $\pi' dv$ l'expression du travail intermoléculaire, par suite, π et π' seraient égaux; du reste on peut encore, ici, mettre avec M. Sarrau l'expression de la chaleur élémentaire dq sous la forme

$$dq = \mathrm{M}\, dt + \mathrm{A}(p + \pi')\, dv;$$

on a donc

$$\mathrm{A}(p + \pi') = l, \qquad \text{d'où} \qquad \pi' = \mathrm{T}\frac{dp}{dt} - p,$$

c'est-à-dire

$$\pi = \pi'.$$

Or, on vient de voir que les fonctions π et π' sont fort différentes. Par suite, ou la constitution des fluides ne répond aucunement à l'hypothèse faite, ou les bases mêmes de la théorie sont inapplicable à cette classe de corps; et ceci n'a pas lieu seulement sous de fortes pressions, car les Tableaux montrent que la différence $\pi - \pi'$ paraît rester aux pressions inférieures du même ordre de grandeur que les fonctions π et π' et ne s'annuler qu'avec elles.

M. Sarrau avait déjà fait remarquer que c'est aux *solides* que les résultats, auxquels pourrait conduire l'hypothèse en question, paraissaient avoir le plus de chance d'être applicables, parce que dans ces corps les molécules oscillent probablement très peu autour de certaines positions d'équilibre stable.

IV. Il est facile de donner du viriel une représentation graphique très simple : soit une isotherme tracée en portant les pressions en abscisses et les produits pv en ordonnées, soit $p_0 v_0$ l'ordonnée à l'origine (OA) répondant pratiquement à une pression pour laquelle W est nul. Une parallèle à l'axe des p menée par le point A coupera (sauf pour l'hydrogène) l'isotherme en un second point B; si d'un point M de l'isotherme on abaisse MP sur AB, on aura

évidemment

$$MP = p_0 v_0 - pv = \frac{1}{3} W.$$

L'isotherme, rapportée à AB comme axe des pressions, a donc pour ordonnées les valeurs du viriel (au facteur $\frac{1}{3}$ près), comptées positivement au-dessous de cet axe. Il résulte immédiatement de la forme de l'isotherme que W, d'abord positif (sauf pour l'hydrogène), part de zéro : la pression croissant passe par un maximum répondant au minimum des produits pv, s'annule au point B et prend des valeurs négatives indéfiniment croissantes.

Le lieu des points B, ainsi obtenus pour chaque isotherme, divise le réseau en deux régions dans chacune desquelles le viriel des forces intérieures est de signes contraires. Dans la région où W est négatif, la valeur moyenne de $\varphi(r)$ doit l'être également ; il est naturel, d'après ce qui précède, que la pression intérieure ait le même signe ; or la fonction π, bien que différente de π', devrait cependant, si l'hypothèse faite à son sujet relativement à l'énergie moléculaire est exacte, changer de signe en même temps que le travail intermoléculaire, et, par suite, en même temps que $\varphi(r)$ et que π', ce qui n'a pas lieu ; l'hypothèse en question ne semble donc point être satisfaite ; du reste, pour en revenir à la relation (1), il paraît naturel que la pression $\mathfrak{P}$ s'y annule avec $\varphi(r)$; il y a donc lieu de revenir sur ce point : c'est ce que je me propose de faire.

Sur la courbure de la surface des systèmes optiques centrés;

PAR M. ANDRÉ BROCA.

Quand un système centré présente le défaut connu sous le nom d'*astigmatisme,* le faisceau aberrant produit, après réfraction, par le faisceau homocentrique issu d'un point en dehors de l'axe, ne présente plus aucun point remarquable bien défini ; on ne peut donner une définition de la surface focale indépendante de la position du diaphragme.

Mais j'ai montré (¹) que tout système centré possède sur l'axe des points réels ou imaginaires où les aberrations sont du quatrième ordre par rapport à l'ouverture utilisée sur la première surface. Il est aisé de voir que ces points font partie d'une surface où les droites de Sturm sont confondues, et l'examen de l'abaque que j'ai tracé montre que le point de cette surface situé sur l'axe est toujours un point simple. Or cette surface est symétrique par rapport à l'axe : elle lui est donc normale. Donc, pour tout point voisin de l'axe d'une surface normale à l'axe, les aberrations seront encore infiniment petites. Il y a donc là une véritable surface focale.

Cherchons la condition pour que cette surface ait un rayon de courbure infini.

Je prendrai comme origines des segments les centres des dioptres, et comme direction positive le sens inverse de la propagation de la lumière. Un dioptre sera donc entièrement défini par son rayon de courbure affecté de son signe, et les valeurs des indices qu'il sépare.

Je vais d'abord, pour simplifier l'exposé qui suit, poser une définition.

J'appelle *transformée optique*, relativement à un dioptre, d'une surface lumineuse, le lieu des points de rebroussement des caustiques relatives à chacun des points de cette surface.

Je considérerai ensuite le lieu de ces points de rebroussement comme une nouvelle surface lumineuse émettant des faisceaux homocentriques ; ceux-ci donneront une nouvelle transformée optique, que j'appelle *transformée optique de la première surface relative à deux dioptres.*

Ceci est évidemment susceptible de généralisation et l'on conçoit immédiatement ce que c'est que la transformée optique d'une surface relative à un système centré quelconque.

Le théorème qui suit va nous permettre de faire usage de ces transformées optiques.

THÉORÈME I. — *Deux rayons infiniment voisins et parallèles sont réfractés par un dioptre suivant deux rayons, formant*

(¹) Voir *Séances de la Société française de Physique*, année 1892, p. 42.

entre eux un angle du même ordre que la distance des rayons incidents.

En effet, la surface focale relative à tous les points à l'infini, dans un dioptre, est toujours à distance finie de la surface de celui-ci. Or c'est infiniment près de la surface focale que se couperont les deux rayons réfractés relatifs aux deux rayons parallèles considérés : donc l'angle de ceux-ci sera du même ordre que le segment qu'ils interceptent sur la surface du dioptre.

Corollaire I. — Tout faisceau aberrant faisant avec l'axe un angle infiniment petit du premier ordre, et présentant une enveloppe à point de rebroussement, sera transformé par une nouvelle réfraction en un nouveau faisceau, dont toutes les droites passeront à distance infiniment petite du quatrième ordre du point de rebroussement de la caustique relative au premier point de rebroussement considéré comme point lumineux.

Corollaire II. — Cette transformation pouvant s'opérer de proche en proche, tout faisceau aberrant aura des rayons infiniment voisins de ceux du faisceau aberrant qu'on obtiendrait en considérant successivement comme des points lumineux les points de rebroussement des caustiques successives obtenues avec chaque dioptre du système, et passeront à distance infiniment petite du quatrième ordre du dernier de ces points de rebroussement.

Si donc nous cherchons ce qui se passe pour les conjugués des points d'un plan, dont le pied sur l'axe est un point aplanétique, l'homocentricité sera conservée et le point de concours des rayons sera infiniment voisin du quatrième ordre du point de rebroussement de la dernière caustique considérée.

La surface focale, pour ces points, aura donc même rayon de courbure que la transformée optique du plan considéré relative au système centré total.

Nous n'avons donc plus qu'à chercher la condition pour que la transformée optique d'un plan relativement à un système centré quelconque ait un rayon de courbure infini. Si nous assujettissons ensuite le système centré à posséder au point considéré un point aplanétique, le problème sera résolu dans ce cas particulier.

Étudions donc les propriétés de la transformation optique.

Théorème II. — *Dans la transformation optique, l'ordre des contacts est conservé.*

En effet, soient un dioptre de centre O et de rayon γ, et deux courbes [A] et [A']; je mène l'axe OAA'.

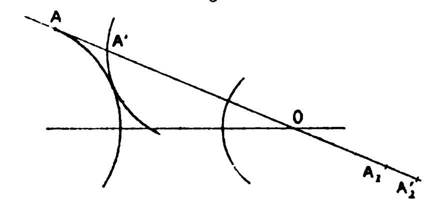
Soient ρ le vecteur de A et n l'indice du dioptre. Le vecteur ρ_1 de A_1, image de A, sera donné par la formule

$$\rho_1 = \frac{\rho\gamma}{n\gamma - (n-1)\rho}.$$

Si ρ devient $\rho + d\rho$ en passant de A en A', nous aurons pour $d\rho_1$, distance de A_1, A'_1, la formule

$$d\rho_1 = \frac{n\gamma^2}{[n\gamma - (n-1)\rho]^2} d\rho,$$

Fig. 1.



qui montre que le théorème est exact tant que les deux courbes sont à distance finie.

Corollaire. — Dans la recherche du rayon de courbure d'une transformée optique, on pourra donc toujours remplacer la surface lumineuse par sa sphère osculatrice, c'est-à-dire que le problème proposé se réduit au calcul du rayon de courbure de la transformée optique d'une sphère relative à un dioptre.

Menons donc un plan passant par l'axe, et cherchons la formule qui donne le rayon de courbure au sommet de la transformée optique d'un cercle à travers un dioptre.

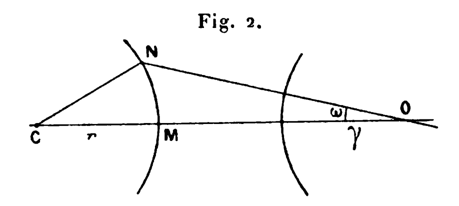
Nous allons traiter le problème en coordonnées polaires, l'axe étant celui du système et le pôle étant le centre du dioptre. Les rayons de courbure, ainsi que tous les segments, sont comptés positivement en sens inverse de la propagation de la lumière.

Soient C le centre du cercle à transformer, O celui du dioptre, ρ_0 le segment OM, N un point du cercle. Nous avons, pour déterminer le point N, l'équation

$$(1)\qquad f=\rho^2+\rho_0^2-2\rho_0 r-2\rho(\rho_0-r)\cos\omega=0,$$

car, par la convention des signes, $OC=\rho_0-r$.

Fig. 2.



Ceci détermine le ρ du point N en fonction de ω. Le point de rebroussement de la caustique de N est déterminé par le même angle ω que N_1 et son ρ_1 est donné par l'équation

$$(2)\qquad \rho_1=\frac{\rho\gamma}{n\gamma-(n-1)\rho},$$

l'ensemble des équations (1) et (2) détermine la surface, dont il faut chercher le rayon de courbure pour $\omega=0$.

Fig. 3.

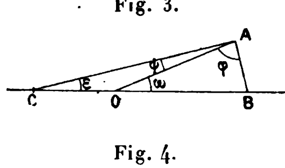
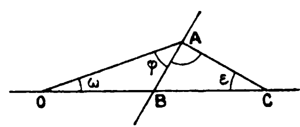


Fig. 4.



Soient ε l'angle de contingence, R le rayon de courbure et ρ et $d\omega$ les coordonnées de A. Nous avons $R\varepsilon=\rho\, d\omega$, en exprimant de deux manières la longueur AB. Si φ est l'angle de la tangente et du rayon vecteur

$$(3)\qquad \operatorname{tang}\varphi=\rho_1\frac{d\omega}{d\rho_1},$$

d'où

$$(4)\qquad d\varphi = \frac{d\,\text{tang}\,\varphi}{1+\text{tang}^2\varphi};$$

d'ailleurs $\varepsilon = d\varphi + d\omega$ dans la première figure, $\varepsilon = -(d\varphi + d\omega)$ dans la seconde. Or $\rho\, d\omega$, d'après les conventions faites, est toujours de même signe : donc R, donné par la formule, changera de signe avec ε_1, ce qui montre que la valeur ainsi calculée de R sera très commodément utilisable ; l'origine de R sera le centre de courbure de la transformée.

Nous avons à calculer $d\,\text{tang}\,\varphi$ par (3) pour $\omega = 0$, et à prendre le rapport de $d\,\text{tang}\,\varphi$ à $1 + \text{tang}^2\varphi$ pour la même valeur de ω. Or $\text{tang}\,\varphi$ devient infini pour $\omega = 0$: nous n'aurons donc à prendre pour facteurs de $d\omega$ que les termes qui deviendront infinis pour $\omega = 0$; les autres disparaîtront dans le quotient (4)

$$\frac{d\omega}{d\rho_1} = -\frac{\frac{\partial f}{\partial \rho}}{\frac{\partial f}{\partial \omega}}\frac{d\rho}{d\rho_1} = -\frac{\rho - (\rho_0 - r)\cos\omega}{\rho(\rho_0 - r)\sin\omega}\,\frac{n\gamma^2}{[\gamma + (n-1)\rho_1]^2}.$$

Pour $\omega = 0$, ceci a pour valeur principale

$$\frac{d\omega}{d\rho_1} = \frac{-r\gamma}{\rho_1[(n\rho_1 - r)\gamma - (n-1)r\rho_1]\omega} = \frac{A}{\omega\rho_1},$$

et alors

$$\text{tang}\,\varphi = \frac{A}{\omega};$$

d'où

$$d\,\text{tang}\,\varphi = -\frac{A}{\omega^2}d\omega + \frac{1}{\omega}\frac{dA}{d\omega}d\omega;$$

or, A est fonction de ρ_1 et $\left(\frac{d\rho_1}{d\omega}\right)_\omega = 0$; donc la valeur principale de $d\,\text{tang}\,\varphi$ est $-\frac{A}{\omega^2}d\omega$.

$$\text{tang}^2\varphi = \frac{A^2}{\omega^2},$$

d'où

$$d\varphi = -\frac{d\omega}{A}$$

à la limite.

Alors

$$\varepsilon = d\omega\left[1 + \frac{(n\rho_1 - r)\gamma - (n-1)r\rho_1}{r\gamma}\right] = d\omega\,\frac{\rho_1[n\gamma - (n-1)r]}{r\gamma};$$

d'où je tire par

$$R\varepsilon = \rho_1 d\omega, \qquad R = \frac{r\gamma}{n\gamma - (n-1)r} \qquad \text{ou} \qquad \frac{1}{R} = \frac{n}{r} - \frac{n-1}{\gamma};$$

ce qui établit cette curieuse propriété : que le rayon de courbure au sommet d'une transformée optique d'une surface ne dépend que du rayon de courbure en son sommet de la surface et aucunement de sa position sur l'axe du système. La formule est d'ailleurs symétrique est réversible, ce qu'il fallait prévoir.

Dans le cas particulier d'une série de lentilles de même indice, la condition de planéité peut se mettre sous une forme frappante.

Les formules successives sont alors

$$\frac{1}{R_1} = -\frac{n-1}{\gamma_1},$$
$$\frac{n}{R_2} = \frac{1}{R_1} + \frac{n-1}{\gamma_2},$$
$$\frac{1}{R_3} = \frac{n}{R_2} - \frac{n-1}{\gamma_3},$$
$$\frac{n}{R_4} = \frac{1}{R_3} + \frac{n-1}{\gamma_4},$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots,$$
$$\frac{n}{R_{2p}} = n-1\left[\left(\frac{1}{\gamma_2} - \frac{1}{\gamma_1}\right) + \left(\frac{1}{\gamma_4} - \frac{1}{\gamma_3}\right) + \ldots + \left(\frac{1}{\gamma_{2p}} - \frac{1}{\gamma_{2p-1}}\right)\right].$$

Pour que ce rayon de courbure soit infini, il faut que le second membre soit nul, ce qui a lieu si la puissance totale du système supposé, comprimé jusqu'à une minceur infinie, est nulle.

J'ai vérifié ce résultat par l'expérience, au moyen d'un essai d'objectif photographique, dont M. Baille a bien voulu faire gracieusement la construction dans ses ateliers. Je lui en exprime ici toute ma reconnaissance. Cet objectif n'a pas donné de résultats pratiques pour plusieurs raisons, que je n'exposerai pas ici pour ne pas développer encore ce travail déjà trop long; mais il a entièrement vérifié tous les résultats énoncés relativement à l'existence : 1° de points aplanétiques au quatrième ordre près;

2° de l'absence d'astigmatisme sur les bords; 3° de la planéité de la surface focale, quand les rayons de courbure satisfont à la condition précédente.

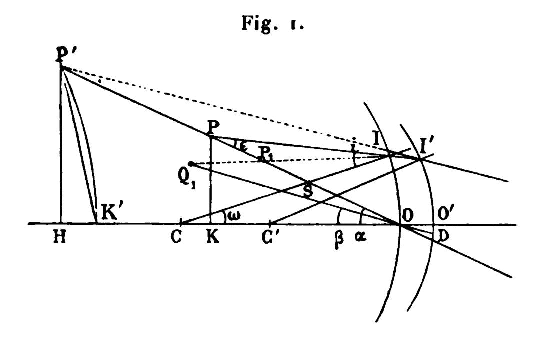
Sur l'astigmatisme des lentilles infiniment minces et des miroirs sphériques;

PAR M. G. FOUSSEREAU.

Quand une lentille sert d'objectif, le faisceau lumineux venant de chaque point de l'objet recouvre toute sa surface, si l'on suppose qu'aucun diaphragme placé à distance ne limite ce faisceau. Considérons comme négligeables les amplitudes des faces de la lentille; le faisceau lumineux émergent qui provient d'un point P situé sur un axe secondaire PO, faisant l'angle α avec l'axe principal, passe par deux petites droites focales perpendiculaires qui rencontrent l'axe secondaire en deux points différents P′ et P″.

Premier cas. — Considérons d'abord un rayon PI (*fig.* 1)

Fig. 1.



II′ doit être dans le prolongement de Q_1I.

dont le point d'incidence I sur la première face O de la lentille est dans la même section principale que le point lumineux, à une distance h du sommet O. La direction du rayon réfracté II′ rencontre en Q_1 la direction OD du rayon réfracté correspondant au rayon incident PO. La direction du rayon émergent I′R rencontre la direction de l'axe secondaire en P′ qui est un point de la

première focale du point P. Désignons par i et r les angles d'incidence et de réfraction pour la première réfraction, par i' et r' pour la seconde. Posons

$$\mathrm{IPO} = \varepsilon, \quad \mathrm{ICO} = \omega, \quad \mathrm{OP} = p, \quad \mathrm{OQ_1} = q_1, \quad \mathrm{OP'} = p',$$
$$\mathrm{OC} = \mathrm{R}, \quad \mathrm{O'C'} = \mathrm{R'}, \quad \mathrm{COQ_1} = \beta.$$

En négligeant les quantités d'ordre supérieur au premier, les angles ε et ω s'expriment par

$$\varepsilon = \frac{h\cos\alpha}{p}, \qquad \omega = \frac{h}{\mathrm{R}}.$$

On a donc

$$i = \alpha + \omega - \varepsilon = \alpha + h\left(\frac{1}{\mathrm{R}} - \frac{\cos\alpha}{p}\right),$$
$$r = \beta + h\left(\frac{1}{\mathrm{R}} - \frac{\cos\beta}{q_1}\right),$$
$$i' = \beta + h\left(\frac{1}{\mathrm{R'}} - \frac{\cos\beta}{q_1}\right),$$
$$r' = \alpha + h\left(\frac{1}{\mathrm{R'}} - \frac{\cos\alpha}{p'}\right).$$

En exprimant les relations

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin r'}{\sin i'},$$

on obtient

$$n = \frac{\sin\alpha + h\cos\alpha\left(\frac{1}{\mathrm{R}} - \frac{\cos\alpha}{p}\right)}{\sin\beta + h\cos\beta\left(\frac{1}{\mathrm{R}} - \frac{\cos\beta}{q_1}\right)} = \frac{\sin\alpha + h\cos\alpha\left(\frac{1}{\mathrm{R'}} - \frac{\cos\alpha}{p'}\right)}{\sin\beta + h\cos\beta\left(\frac{1}{\mathrm{R'}} - \frac{\cos\beta}{q_1}\right)}.$$

En combinant ces rapports par soustraction de leurs termes, on trouve, en tenant compte de la relation

$$\sin\beta = \frac{\sin\alpha}{n},$$

$$(1) \qquad \frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = \frac{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} - \cos\alpha}{(n-1)\cos^2\alpha}\,\frac{1}{f},$$

f étant la distance focale principale de la lentille.

Les rayons émergents contenus dans le plan de la section concourent donc au point P'.

Si l'on coupe la lentille par une série de plans parallèles à celui de la figure, les rayons émergents qui rencontrent la lentille dans

chacune de ces sections auront un point commun voisin de P′, mais situé en dehors du plan de la figure. Le lieu de ces points constitue la première focale perpendiculaire au plan de la section principale.

Cherchons à déterminer l'image d'un plan PK, perpendiculaire à l'axe principal (*fig.* 1). Posons $OK = k$. Nous aurons pour tous les points du plan

$$p = \frac{k}{\cos\alpha}.$$

L'équation (1) devient

$$(2) \qquad \frac{1}{p'} = \frac{\cos\alpha}{k} - \frac{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} - \cos\alpha}{(n-1)\cos^2\alpha}\,\frac{1}{f}.$$

Cette équation définit le lieu des points P′ en coordonnées polaires [1].

Elle représente une surface de révolution autour de l'axe principal.

Pour $\alpha = 0$, le point P est sur l'axe principal, on a

$$\frac{1}{p'} = \frac{1}{k} - \frac{1}{f}.$$

Le sommet de la surface est le point K′, foyer conjugué du point K.

Pour trouver le rayon de courbure de la surface en ce point, considérons un point P′ de la courbe méridienne infiniment voisin du sommet K′. La corde K′P′ peut se confondre avec celle du cercle osculateur en K′, quand α tend vers zéro. On a donc, en posant $OK' = k'$ et en représentant par K′H la projection de K′P′ sur l'axe principal

$$r = \frac{\overline{K'P'}^2}{2K'H} = \frac{p'^2 + k'^2 - 2p'k'\cos\alpha}{2(p'\cos\alpha - k')},$$

ou, en développant $\cos\alpha$ et en négligeant les termes d'ordre supé-

---

[1] Passons aux coordonnées rectilignes, en prenant pour axes l'axe principal et la tangente au sommet de la lentille dans le plan de la section considérée.

On obtient l'équation

$$(3) \qquad \frac{1}{k} - \frac{1}{x} = \frac{(x^2+y^2)\left[\sqrt{(n^2-1)y^2+n^2x^2} - x\right]}{(n-1)x^3 f}.$$

rieur à α^2,

$$r = k'^2 \frac{\alpha^2}{2(p'-k')-p'\alpha^2}.$$

On tire d'autre part de l'équation (2)

$$p' = k' + \frac{k'\alpha^2}{2}\left[1 + \frac{(3n+1)k'}{nf}\right],$$

et, par suite,

$$r = \frac{n}{3n+1} f.$$

Ce rayon de courbure ne dépend pas de la position du plan-objet.

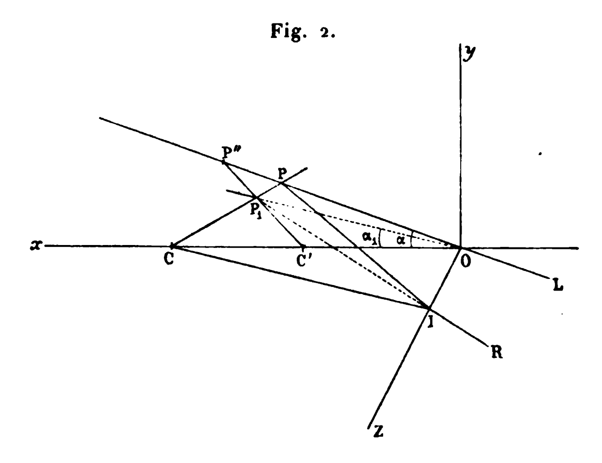
Pour $f > 0$, c'est-à-dire par les lentilles convergentes, la courbure est convexe du côté vers lequel se propage la lumière.

Pour $f < 0$ (lentilles divergentes), elle est concave du même côté.

Second cas. — Le point d'incidence I est dans une section principale xOz perpendiculaire à celle du point lumineux.

Imaginons qu'on décrive un cône de révolution en faisant tourner la direction PO autour de PC (*fig.* 2). Le plan POz,

Fig. 2.



perpendiculaire au plan POC, est tangent à ce cône, suivant la génératrice PO. Donc toute direction PI joignant le point P à un point I de Oz très voisin de O peut être considérée comme une génératrice du cône. Les rayons incidents PO, PI font donc des

angles d'incidence POC, PIC égaux entre eux. Les rayons OL, IR réfractés par la première surface, respectivement contenus dans les plans POC, PIC, font aussi des angles de réfraction égaux et concourent en un même point P_1 de la droite CP, qui est pour ces rayons le foyer conjugué de P par rapport à la première face.

Pour une raison semblable, le foyer conjugué P'' de P_1, par rapport à la seconde face, est situé à l'intersection de la direction P_1C' qui joint ce point au centre de la seconde face avec celle de l'axe secondaire OP.

En considérant les rayons qui rencontrent la face d'entrée de la lentille sur une série de plans parallèles à xOz, on obtient une droite focale perpendiculaire à OP'' et contenue dans le plan xOy.

L'angle $P_1Ox = \alpha_1$ est déterminé par

$$\sin\alpha_1 = \frac{\sin\alpha}{n}, \qquad \cos\alpha_1 = \sqrt{1 - \frac{\sin^2\alpha}{n^2}}.$$

Posons

$$OP = \rho, \qquad OP'' = \rho'.$$

L'équation de la droite PC est

$$(\rho\cos\alpha - R)y = \rho\sin\alpha(x - R).$$

Celle de la droite P_1O est

$$y = x\,\text{tang}\,\alpha_1 = x\frac{\sin\alpha}{n\cos\alpha_1}.$$

En éliminant y entre ces deux équations, on obtient l'abscisse x_1 du point P_1

$$\frac{1}{x_1} = \frac{1}{R}\left(1 - \frac{\cos\alpha}{n\cos\alpha_1}\right) + \frac{1}{n\rho\cos\alpha_1}.$$

En égalant cette expression de $\frac{1}{x_1}$ à l'expression analogue que l'on obtient en exprimant que P_1 est l'intersection des droites $P''C'$ et P_1O, on a

$$(4) \qquad \frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho'} = (n\cos\alpha_1 - \cos\alpha)\left(\frac{1}{R'} - \frac{1}{R}\right) = \frac{n\cos\alpha_1 - \cos\alpha}{n-1}\,\frac{1}{f};$$

cette équation étant différente de l'équation (1), les points P' et P'' sont différents, sauf pour les points de l'axe principal.

En posant

$$\rho = \frac{k}{\cos\alpha},$$

pour avoir l'image d'un plan perpendiculaire à l'axe principal et exprimant k à l'aide de k', on obtient

$$(5) \qquad \frac{1}{\rho'\cos\alpha} = \frac{1}{k'} + \frac{n(\cos\alpha - \cos\alpha_1)}{(n-1)\cos\alpha}\,\frac{1}{f},$$

ou, en passant aux coordonnées rectilignes,

$$(6) \quad \left\{ \begin{array}{l} f[(n-1)f + 2nk']x^2 \\ \quad -(n+1)k'^2y^2 - 2fk'[(n-1)f + nk']x + (n-1)f^2k'^2 = 0. \end{array} \right.$$

La courbe méridienne de la surface focale est donc une conique ayant son centre sur l'axe principal qu'elle rencontre aux points

$$x' = k' \qquad \text{et} \qquad x = \frac{(n-1)fk'}{(n-1)f + 2nk'}.$$

La partie utile est la partie voisine du sommet K'. La convexité dans le cas des lentilles convergentes et la concavité dans le cas des lentilles divergentes sont encore tournées du côté vers lequel se propage la lumière; et le rayon de courbure, au sommet, a toujours pour valeur

$$r' = \frac{n}{n+1} f.$$

Discussion : A. *Lentilles convergentes* $f > 0$. — Suivant que la valeur de k' est supérieure, égale ou inférieure à $-\frac{n-1}{2n}f$, la courbe méridienne est une hyperbole, une parabole orientée vers les x positifs ou une ellipse. Le premier cas comprend toutes les images virtuelles, le dernier toutes les images réelles fournies pour un objet réel. Pour $k' = \infty$ et $k = f$, on a les parties éloignées d'une parabole orientée vers les x négatifs.

B. *Lentilles divergentes* $f < 0$. — Il suffit de renverser dans ce cas les conclusions qui précèdent. Un plan-objet réel donne toujours comme image un ellipsoïde.

Système de lentilles infiniment minces. — Tous les résultats que nous venons d'exposer sont applicables à un système centré de plusieurs lentilles infiniment minces qui se touchent. Le rayon de courbure des surfaces focales est déterminé par les mêmes formules, à la condition de prendre pour $\frac{1}{f}$ la convergence du système qui est la somme de celles des lentilles composantes ([1]).

Application physiologique. — Le second point nodal de l'œil est voisin de la face postérieure du cristallin. L'axe secondaire du faisceau venant d'un point lumineux traverse donc toujours la région centrale du cristallin, c'est-à-dire que cet organe est sensiblement placé dans les conditions que nous avons supposées pour nos lentilles. Il en est autrement de la cornée qui est éloignée du premier point nodal de l'œil et se trouve ainsi traversée en des régions différentes par les faisceaux venant des divers points du champ ([2]). Il est donc possible que, dans un œil normal, la forme de la cornée soit propre à compenser plus ou moins complètement la courbure des images. Mais le cristallin, considéré isolément, doit donner à l'image d'un objet plan une forme convexe vers la rétine. Il serait intéressant d'examiner si la courbure de la fosse centrale est en rapport avec ce phénomène, et se rapproche de l'une ou de l'autre des courbures calculées.

Astigmatisme des miroirs. — L'axe du faisceau réfléchi correspondant à un point lumineux P est le rayon réfléchi OR qui passe par le sommet du miroir (*fig.* 3). Les deux droites focales

---

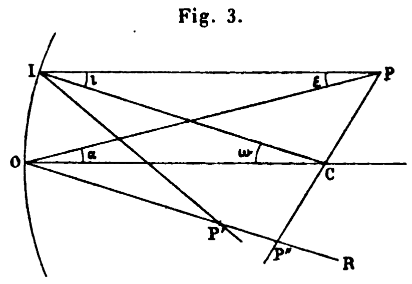
([1]) Ces résultats sont indépendants de l'aberration de sphéricité qui peut superposer ses effets à ceux que nous venons d'étudier, puisque nous n'avons considéré que les rayons centraux. La théorie demeure donc applicable, quelle que soit la forme des surfaces de révolution formant les faces des lentilles, pourvu qu'elles ne présentent pas de points singuliers, car on peut légitimement substituer à ces surfaces les sphères osculatrices à leurs sommets.

Mais elle ne s'applique pas sans réserves à un système de lentilles épaisses ou écartées les unes des autres, car les faisceaux lumineux venant des divers points du champ traversent, en général, ces lentilles en des régions différentes de leurs faces, et la forme de la courbure peut, dès lors, intervenir pour modifier les résultats.

([2]) On peut s'en assurer en passant devant l'œil un petit corps opaque, comme un crayon, qui cache successivement les objets placés dans le champ de l'œil.

rencontrent sa direction en deux points P′ et P″ qu'il s'agit de déterminer.

Fig. 3.



Premier cas. — Le point d'incidence I est dans la section principale du point P. En égalant les angles d'incidence et de réflexion évalués comme nous l'avons fait plus haut, on trouve

$$\alpha + h\left(\frac{1}{R} - \frac{\cos\alpha}{p}\right) = \alpha - h\left(\frac{1}{R} - \frac{\cos\alpha}{p'}\right),$$

ou en effectuant le calcul

$$(7) \qquad \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f\cos\alpha}.$$

En prenant pour lieu des points P le plan

$$p = \frac{k}{\cos\alpha}$$

et en désignant par k' la distance conjuguée de k, on obtient pour équation du lieu des points P′

$$\frac{1}{p'} = \frac{\sin^2\alpha}{f\cos\alpha} + \frac{\cos\alpha}{k'},$$

ou, en passant aux coordonnées rectilignes,

$$(8) \qquad \frac{x^2}{k'} + \frac{y^2}{f} - x = 0.$$

Discussion : A. *Miroirs concaves* $f > 0$. — 1° Pour $k' < 0$, c'est-à-dire dans le cas des images virtuelles, l'équation représente une hyperbole, qui, en tournant autour de l'axe principal, engendre un hyperboloïde de révolution à deux nappes. Ses sommets sont l'origine et l'image K′ du point K. Le coefficient

angulaire de ses asymptotes est $\pm\sqrt{-\frac{f}{k'}}$. Pour tous les axes secondaires dont le coefficient angulaire est compris entre ces limites, c'est-à-dire pour toute la partie de l'objet intéressante dans la pratique, l'image est fournie par la nappe de gauche. Cette image est donc convexe vers la direction de la lumière. Son rayon de courbure au sommet K' a pour valeur $r = \frac{f}{2}$. Il est égal à la moitié de la distance focale du miroir et ne dépend pas de la position du plan-objet.

2° Pour $k' > 0$, cas des images réelles, l'équation de la courbe méridienne représente une ellipse passant encore par le sommet O et par le point K', et ayant pour rapport d'axes $\sqrt{\frac{f}{k'}}$. La partie utile qui avoisine le sommet K' est encore convexe du côté où va la lumière et a pour rayon de courbure $\frac{f}{2}$.

3° Pour $k = f$ et $k' = \infty$, le plan-objet est le premier plan focal principal. L'équation se réduit à

$$y^2 = fx.$$

Elle représente une parabole de sommet O tournée vers les x positifs. Les parties utiles de la surface correspondante sont les parties les plus éloignées.

B. *Miroirs convexes* $f < 0$. — L'équation représente une ellipse pour $k' < 0$, une hyperbole pour $k' > 0$, une parabole tournée vers les x négatifs pour $k' = \infty$ ou $k = f$.

On reconnaîtra aisément que la partie utile de la surface est toujours la partie voisine du sommet K', et que sa concavité est toujours, dans ce cas, tournée dans le sens de la propagation de la umière. Le rayon de courbure au sommet a encore la valeur $\frac{f}{2}$.

Deuxième cas. — Le point d'incidence est dans une section principale perpendiculaire à celle du point P. On voit, en raisonnant comme dans le cas des lentilles, que le point de concours P'' est sur l'axe secondaire PC. En posant

$$OP = \rho, \qquad OP'' = \rho',$$

on trouve, par l'application des propriétés de la bissectrice OC

dans le triangle POP″,

$$\frac{1}{\rho} + \frac{1}{\rho'} = \frac{\cos\alpha}{f}. \tag{9}$$

En prenant comme objet le plan

$$\rho = \frac{k}{\cos\alpha},$$

on trouve comme image le lieu

$$\rho' = \frac{k'}{\cos\alpha},$$

c'est-à-dire un second plan perpendiculaire à l'axe principal.

Les deux surfaces focales d'un plan sont donc un plan et une surface de rayon de courbure $\frac{f}{2}$ à son sommet, où elle est tangente au plan.

SÉANCE DU 15 MARS 1895.

PRÉSIDENCE DE M. CAILLETET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le Procès-Verbal de la séance du 1er mars est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. AUBRY, Professeur au Lycée de Foix.
AUPAIX, Professeur au Lycée de Quimper.
BLAREZ (Dr), Professeur à la Faculté de Médecine de Bordeaux.
BOUDRET, Professeur au Lycée d'Agen.
CADENAT, Professeur au Collège de Saint-Claude.
CHANAL, Professeur au Lycée de Reims.
CENSIER, Professeur au Lycée de Nîmes.
CHEVALLIER, Préparateur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.
COLIN, Professeur au Lycée de Montpellier.
DIDELOT, Professeur à la Faculté de Médecine de Lyon.
GODART, Professeur au Collège de Compiègne.
HOULLEVIGUE, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Lyon.
JAMBART, Professeur au Lycée de Cahors.
LEBARD, Professeur au Lycée d'Angoulême.
MARSAL, Professeur au Lycée d'Agen.
MONNIER, Professeur à l'Ecole centrale des Arts et Manufactures, à Paris.
MORIN, Professeur au Lycée de Montluçon.
SCHÜRR, Chargé de Cours au Lycée de Montluçon.
SORBIER, Professeur au Lycée de Bayonne.
THOMAS, Professeur à l'Ecole supérieure des Sciences d'Alger.

M. A. Leduc rappelle d'abord la définition de l'*abaissement moléculaire*. Si l'on désigne par T la température de fusion d'un dissolvant pur, par T — δT celle d'une solution contenant P grammes pour 100 d'un corps dont le poids moléculaire est M, l'abaissement moléculaire du point de fusion est $\delta T \frac{M}{P}$. Telle serait, si la loi de Blagden était exacte, la différence des points de congélation du dissolvant pur et d'une solution contenant une molécule-gramme du corps dans 100^{gr} de dissolution.

En réalité cette expression varie souvent beaucoup avec la concentration; on représente avantageusement ses variations au moyen d'une courbe ayant pour abscisses les abaissements (δT).

L'étude du point de congélation des solutions aqueuses a été faite à deux points de vue très différents. Les premiers auteurs (Rüdorff, de Coppet, M. Raoult) ont obtenu des courbes ayant à peu près même allure pour des dissolutions dont le point de congélation était généralement inférieur à — 1° ou — 2°.

Les expériences plus récentes, poursuivies au contraire avec des dissolutions beaucoup plus diluées, ont donné pour un même sel des courbes présentant les formes les plus variées. On peut citer notamment les résultats de MM. Arrhenius, Pickering et Ponsot, relatifs au chlorure de sodium.

La principale cause de ces divergences réside dans la difficulté de mesurer des abaissements très faibles. M. Leduc supprime le thermomètre et place l'éprouvette cryoscopique dans un récipient où il comprime un mélange de glace pure râpée et d'eau distillée. La mesure de la pression à laquelle se trouve le mélange en fait connaître la température avec une extrême précision, puisqu'une variation de pression mesurée par 1^{cm} de mercure correspond à un abaissement du point de fusion de la glace inférieur à 0°,0001.

Indépendamment de sa grande sensibilité, cette méthode a l'avantage d'éliminer toutes les corrections qui rendent si difficile la mesure d'une variation de température à 0°,001 près. Elle permet en outre de réaliser aisément l'équilibre et de le maintenir aussi longtemps qu'on peut le désirer.

M. Leduc calcule l'excès de pression δp qu'il faut exercer sur le mélange de glace et d'eau en fonction de la *pression osmotique* de la dissolution, puis de sa concentration, en admettant la formule de M. Van't Hoff relative à la pression osmotique. Il obtient ainsi la formule

$$\delta p = \frac{iRT}{100(u' - u)} \frac{P}{M},$$

dans laquelle i désigne le coefficient *isotonique* du corps dissous, R la constante moléculaire des gaz ($8,26.10^7$ C.G.S.), u et u' les volumes spécifiques du dissolvant à l'état solide et à l'état liquide.

En réalité, la méthode permet d'étudier le coefficient isotonique des solutions salines aqueuses très diluées par exemple, beaucoup plus facile-

ment qu'on ne peut le faire au moyen des appareils osmotiques, et c'est là son véritable but.

M. Leduc termine sa Communication en appliquant la notion de pression osmotique au calcul de la différence des pressions maxima de vapeur de la glace et de l'eau à la même température.

M. Wyrouboff fait remarquer que le procédé si ingénieux proposé par M. Leduc peut rendre de très grands services en Physique, où l'exactitude des mesures est une condition primordiale, mais qui ne paraît pas bien nécessaire en Chimie. Les écarts que l'on constate dans l'application de la règle de Raoult ne sont pas dus à des erreurs d'observations thermométriques, mais au caractère même de cette règle essentiellement empirique, et dont on a voulu faire, bien à tort, une *loi* rationnelle. Les diverses propriétés physiques des corps sont, sans doute, fonction de leur poids moléculaire, mais fonction tellement complexe qu'on n'en aperçoit pas la forme. En ces derniers temps on a voulu simplifier les choses, et trouver de simples proportionnalités. Cette tendance, fort naturelle, est très utile à la Science, à la condition de ne pas confondre les hypothèses que nous faisons sur la constitution de la matière, et les résultats accessibles à notre observation.

M. Leduc répond que son principal but n'est pas de rechercher, comme l'a fait M. Raoult, la relation plus ou moins simple qui peut exister entre les abaissements moléculaires limites des sels appartenant à diverses catégories, mais bien d'étudier la variation du rapport $\frac{\delta T}{P}$ dans les dissolutions très étendues, afin de rapprocher les résultats de cette étude de ceux qui ont été obtenus, par exemple par MM. Bouty et Kohlrausch. en ce qui concerne la conductibilité électrique de ces mêmes dissolutions, ainsi que de la théorie de la *dissociation en ions*.

Si l'on veut tirer de cette étude une conclusion formelle, il est indispensable de mesurer δT à 0°,0001 près.

M. Paul Charpentier fait une Communication sur un pressomètre sensible. L'appareil se compose d'une sorte de baromètre à siphon; les deux niveaux du mercure s'arrêtent dans deux réservoirs A et B reliés par un tube plus étroit. En A, règne le vide. Le réservoir B est surmonté par un tube de très faible section, ouvert à l'air libre. Au-dessus du mercure s'élève, dans ce tube, un liquide indicateur de faible densité, de l'eau ou de l'huile. Il est facile d'établir la relation qui lie les variations du niveau de ce liquide aux changements de la pression atmosphérique, et l'on voit immédiatement que ces dénivellations seront beaucoup plus grandes que dans un baromètre ordinaire. M. Paul Charpentier examine en détail les conditions de fonctionnement du baromètre ainsi constitué; il indique comment on le construit, on le règle et montre à quels usages il peut servir pour les mesures de pressions de fluides, des tensions de vapeurs, la

densimétrie, etc. Des photographies de l'appareil sont projetées devant la Société; l'appareil lui-même figurera à l'exposition de la séance de Pâques.

M. Pellat craint que les changements dans la forme du ménisque du liquide indicateur n'introduisent de notables erreurs dans l'évaluation de la pression.

M. Charpentier répond que les résultats obtenus par comparaison avec un baromètre normal ne mettent pas en évidence cette cause d'erreur.

Nouvelle méthode pour mesurer l'abaissement du point de congélation des dissolutions très diluées;

Par M. A. Leduc.

Une récente Note de M. Ponsot [1] a mis en lumière une fois de plus les divergences considérables que présentent les résultats obtenus par les divers expérimentateurs, relativement au point de congélation des dissolutions très étendues.

La principale cause de ces divergences réside dans la petitesse des abaissements de la température de congélation qu'il s'agit de mesurer; l'erreur relative devient énorme lorsque les abaissements descendent au-dessous du centième de degré.

En raison de l'intérêt qui s'attache à l'étude des dilutions extrêmes, je me suis proposé de réduire considérablement cette erreur en remplaçant la mesure d'abaissements de température très faibles par celle de pressions relativement considérables.

Supposons, pour fixer les idées, qu'il s'agisse d'une solution aqueuse. Ajustons le tube à essai qui la renferme [2] sur l'un des orifices d'un récipient où l'on peut comprimer un mélange intime de glace pure râpée et d'eau distillée.

Plusieurs dispositifs permettent de surveiller ce qui se passe dans la dissolution, convenablement agitée d'ailleurs. On peut, par exemple, installer dans un *regard*, devant lequel on amène la

---

[1] *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences* du 11 février 1895.

[2] La hauteur du liquide dans le tube ne devra pas dépasser $0^m,05$ à $0^m,06$.

partie inférieure du tube, un microscope approprié muni d'un oculaire éclairant.

Nous désignerons, en général, par T la température absolue de congélation normale du dissolvant pur (273° dans le cas présent), et par (T — δT) celle de la solution contenant P grammes pour 100 d'un corps dont le poids moléculaire est M.

Soit encore δp l'excès de pression (par rapport à la pression atmosphérique normale) qui provoque la fusion de la glace à la température T — δT, c'est-à-dire à δT au-dessous du zéro centigrade usuel.

Pour amener le mélange de glace et d'eau et, par suite, notre dissolution à la température de congélation de celle-ci, il suffit d'exercer sur ce mélange un excès de pression δp.

Tant que la pression est insuffisante, des parcelles de glace introduites dans la dissolution y fondent; si elle est trop forte, ces mêmes parcelles déterminent la formation d'aiguilles de glace plus ou moins abondantes. Il est donc facile de saisir exactement le point de congélation.

L'avantage de cette méthode saute aux yeux. On sait, en effet, qu'un excès de pression d'une atmosphère produit un abaissement δT un peu inférieur à 0°,0076, de sorte qu'une erreur de 1^{mm} sur la colonne de mercure mesurant δp correspondrait à une erreur sur δT inférieure à un cent-millième de degré. Une pareille précision dépasse celle que l'on peut se proposer d'atteindre utilement. On peut donc dire que, pratiquement, l'erreur sur δT est éliminée, et que tous les soins doivent porter sur le titrage des dissolutions.

Ajoutons que l'on peut à volonté, par cette méthode, faire varier lentement ou rapidement la température de l'enceinte et de l'éprouvette entre 0° et quelques centièmes de degré au-dessous de 0° (1), et maintenir cette température rigoureusement constante pendant tout le temps désirable.

---

(1) On pourrait, au besoin, atteindre plusieurs dixièmes de degré. Les abaissements ne sont pas mesurés, il est vrai, en degrés centigrades usuels; mais l'unité choisie (le centimètre de mercure, qui correspond à peu près au dix-millième de degré) a l'avantage d'être parfaitement définie et affranchie de toutes les causes d'erreur de la Thermométrie; c'est là le seul point important, puisqu'il ne s'agit que de comparer des abaissements et non de les mesurer en valeur absolue.

Calcul de δp. — Proposons-nous maintenant d'établir la relation qui existe entre l'excès de pression δp et la concentration de la dissolution.

Si l'on désigne par ϖ la force attractive connue sous le nom de *pression osmotique,* par u et u' les volumes spécifiques du dissolvant pur à l'état solide, puis à l'état liquide, par L sa chaleur de fusion et par E l'équivalent mécanique de la calorie, on a les deux relations connues

$$\frac{\delta T}{\varpi} = \frac{u' T}{EL}, \tag{1}$$

$$\frac{L}{T} = \frac{u' - u}{E} \frac{\delta p}{- \delta T}. \tag{2}$$

On en déduit

$$\delta p = \varpi \frac{u'}{u - u'}. \tag{3}$$

Enfin, la relation de Van t'Hoff

$$\varpi V = iRT, \tag{4}$$

dans laquelle V désigne le volume occupé par 1 molécule du corps dissous, i le coefficient isotonique et R la constante moléculaire des gaz ($8,26 . 10^7$ si la pression est mesurée en dynes par centimètre carré), nous donne, en remarquant que

$$V = 100 . u' \frac{M}{P}: \tag{5}$$

$$\varpi = \frac{iRT}{100 u'} \frac{P}{M}; \tag{6}$$

et, par suite

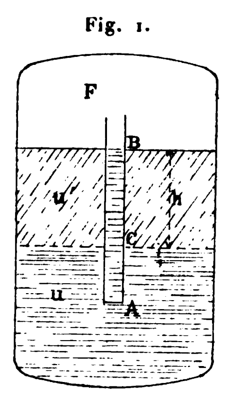
$$\delta F = \frac{iRT}{100 (u - u')} \frac{P}{M}. \tag{7}$$

Démonstration directe de la formule (3). — Il est facile d'établir la formule (3) sans faire usage de la relation (1) de M. Van t'Hoff. Nous nous occuperons d'abord des solutions aqueuses.

I. Considérons un vase clos ne renfermant que de l'eau surmontée par sa vapeur et une solution aqueuse contenue dans un

tube vertical AB suffisamment long (*fig.* 1), terminé à la partie inférieure A par une membrane semi-perméable, ouvert à la partie supérieure dans la vapeur.

Fig. 1.



Amenons tout l'appareil à la température T de congélation de la dissolution sous la pression F de la vapeur saturante émise par la glace à cette même température.

Tandis qu'à ce moment la dissolution commence seulement à se congeler à la partie supérieure, la glace est déjà formée à l'extérieur sur une hauteur h. D'ailleurs les deux surfaces libres sont dans le même plan horizontal, puisque la force élastique maxima de la vapeur émise par la dissolution au point de congélation est précisément F.

D'une part, l'eau reste liquide à la profondeur h, grâce à l'excès de pression

(8) $$\delta p = \frac{h}{u} g \text{ (}^1\text{)}.$$

D'autre part, l'équilibre a lieu entre la pression exercée par la colonne liquide de hauteur h et celle due à la colonne de glace de même hauteur, augmentée de la pression osmotique. On a donc, en confondant le volume spécifique de la solution très diluée avec celui du dissolvant pur

(9) $$\frac{h}{u'} g = \frac{h}{u} g + \varpi.$$

(1) Nous admettons que le dissolvant solidifié n'adhère pas aux parois, de manière qu'il puisse exercer des pressions.

En éliminant h entre ces deux équations, on retrouve la relation

$$(3)\qquad \delta p = \varpi \frac{u'}{u - u'}.$$

II. Il ne paraît pas douteux que la force élastique F de la vapeur émise par la dissolution au point de congélation soit la même que celle de la glace pure. Quoi qu'il en soit, on peut s'affranchir de cette hypothèse, en imaginant que le tube AB soit fermé en B par un piston très mince, imperméable, parfaitement mobile et surmonté d'une certaine colonne d'eau, l'atmosphère ambiante étant d'ailleurs quelconque.

Considérons d'abord l'appareil à une température légèrement supérieure à o° : la différence des niveaux à l'intérieur et à l'extérieur du tube n'est autre que la *hauteur osmotique* H. Abaissons la température et supposons qu'il ne se produise point de surfusion. Tant que la congélation n'a pas atteint le niveau B à l'intérieur du tube, la différence des niveaux ne se modifie qu'en raison de la variation de la pression osmotique et de la densité de l'eau avec la température. A partir de ce moment, la congélation se poursuit à l'extérieur seulement, et le niveau extérieur s'élève par rapport au niveau intérieur jusqu'à ce qu'ils se trouvent dans le même plan horizontal. L'équilibre est alors réalisé comme plus haut, et le même raisonnement conduit à la même conclusion, ce qui justifierait au besoin notre hypothèse relative à F.

III. On peut répéter ce dernier raisonnement à l'égard d'un dissolvant quelconque. On imaginera alors le tube AB renversé et complètement plongé dans le dissolvant (*fig.* 2). Il est fermé à la partie supérieure A par la membrane semi-perméable, et à la partie inférieure B par un piston mince que l'on peut fixer à volonté ou rendre parfaitement mobile.

L'équilibre étant réalisé à la température où la dissolution commence à se congeler (à la partie inférieure), on a cette fois

$$(8\ bis)\qquad -\delta p = \frac{h}{u'} g$$

et

$$(9\ bis)\qquad \frac{h}{u} g = \frac{h}{u'} g + \varpi,$$

d'où encore

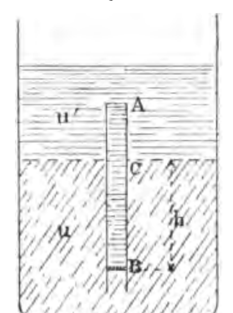
$$\delta p = \varpi \frac{u'}{u - u'}.$$

L'expression de δp est la même; on observera seulement qu'elle est négative ainsi que $u' - u$.

N.-B. — Les diverses relations que nous avons écrites sont générales; mais, si l'on en voulait faire l'application aux dissolvants quelconques, il faudrait *diminuer* la pression exercée sur le dissolvant, ou bien exercer l'excès de pression δp sur la dissolution et non sur le dissolvant.

Première remarque. — La validité des raisonnements thermodynamiques employés par M. Van t'Hoff pour établir la formule (1)

Fig. 2.



ne paraît pas faire de doute. Remarquons seulement que la combinaison des relations (2) et (3) conduit à cette même formule (1).

Seconde remarque. — Nous avons supposé plus haut (II) que la congélation de l'eau se produisait à la température de fusion normale. S'il y avait au contraire surfusion, une différence de niveau égale à la hauteur osmotique (H) subsisterait jusqu'à la température de congélation de la dissolution. On voit dès lors que la pression F' de la vapeur émise par l'eau en surfusion à T δT surpasse celle de la glace de H dg, si l'on appelle d la masse

de l'unité de volume de la vapeur sous la pression moyenne $F_1 = \frac{F + F'}{2}$.

On a donc

$$(10) \qquad F' - F = H\,dg = \varpi\,du',$$

en négligeant le poids spécifique de la vapeur vis-à-vis de celui du liquide.

Or, si l'on désigne par k le rapport de la densité de la vapeur saturante à la densité théorique et par M' le poids moléculaire de cette vapeur, on a

$$(11) \qquad d = \frac{kM'F_1}{RT}.$$

Tirant d'ailleurs de l'équation (1) la valeur de $\varpi u'$, on obtient

$$(12) \qquad F' - F = F_1\,\delta T\,\frac{kELM'}{RT^2}.$$

Pour l'eau, on a sensiblement

$$k = 1,04, \qquad L = 80, \qquad M' = 18, \qquad T = 273,$$

avec

$$E = 4,17.10^7 \qquad \text{et} \qquad R = 8,26.10^7,$$

ce qui donne

$$\frac{kELM}{RT^2} = 0,0101.$$

Pour une surfusion δT de 1°, on a donc $\frac{F' - F}{F_1} = 0,0101$, et la différence $F' - F = 0^{mm},044$ de mercure, ainsi que l'a trouvé d'ailleurs M. Dieterici [1].

---

[1] *Voir* aussi GULDBERG, *Comptes rendus*, t. LXX; 1870, et PONSOT, *Comptes rendus*, t. CXIV, p. 731; 29 novembre 1894.

SÉANCE DU 5 AVRIL 1895.

PRÉSIDENCE DE M. CAILLETET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le Procès-Verbal de la séance du 15 mars est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. BERTIN, Professeur à l'École normale de la Sauve.
BRUNEL, Lieutenant au 5e régiment d'Artillerie, à Besançon.
CHUDEAU, Chargé de cours à la Faculté des Sciences de Besançon.
COUPIER, Ingénieur des Poudres et Salpêtres, Directeur de la Raffinerie de Saint-Louis, à Marseille.
DEBRUN (E.-E.), Professeur au Collège de Saint-Flour.
DELVALEZ, Professeur au Lycée de Poitiers.
EGOROFF (Serge), Observateur à l'Observatoire de Paulowsk, près Saint-Pétersbourg (Russie).
GENEST (Ernest), Professeur à la Faculté des Sciences d'Angers.
GREFFE, Professeur au Lycée de Brest.
JAVAUX (Emile), Directeur des ateliers Gramme, à Paris.
KAPOURTINE (Théodore), Professeur à l'Université de Tomsk (Sibérie).
LÉBÉDEFF (Jean), Préparateur à l'Académie de Saint-Pétersbourg (Russie).
LEFÈVRE, Préparateur au Lycée d'Amiens.
LHUILLIER, Professeur au Prytanée de La Flèche.
LOISELEUR, Professeur au Collège de Libourne.
MALDINEY, Préparateur à la Faculté des Sciences de Besançon.
MATHIEU, Professeur au Lycée de Cherbourg.
MOËSSARD, Colonel du Génie, à Paris.
MORISOT, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.
PAVILLARD, Professeur au Lycée de Montpellier.
PHILIPPE, Professeur au Lycée de Laon.
PISCA (Michel), Ingénieur électricien à Paris.
ROLLAND, Professeur au Lycée de Chartres.
SWYNGEDAUW, Maître de conférences à la Faculté des Sciences de Lille.
VERNIER, Professeur au Lycée de Poitiers.
ZUPP, Professeur au Lycée de Brest.

M. le PRÉSIDENT annonce à la Société les pertes douloureuses qu'elle vient de faire dans les personnes de MM. le Commandant *Fourtie*, attaché au Service géographique de l'armée, et *Jules Libert*, Professeur au Collège de Morlaix.

A propos de la Communication de M. PELLAT sur une sirène à moteur électrique, M. TROUVÉ, par une lettre adressée au Président, informe la Société qu'il avait déjà construit des sirènes à trous normaux aux plateaux mises en mouvement par un moteur électrique.

Après avoir exposé le contenu de cette lettre, M. Pellat ajoute qu'il aurait certainement mentionné dans sa Communication la sirène de M. Trouvé s'il en avait eu connaissance; mais il fait remarquer que l'instrument de M. Trouvé et le sien répondent à des besoins différents. La sirène de M. Trouvé est destinée à donner un signal; la sirène que M. Pellat a présentée est un appareil de mesure, pourvu d'un compteur et construit en vue d'obtenir aisément des sons de hauteur déterminée, de grande ou de faible intensité, pour répéter plus facilement l'expérience classique de la mesure de la hauteur des sons par la sirène.

M. G. Charpy fait une Communication sur des études relatives à *la trempe de l'acier*. L'acier, chauffé au rouge vif et abandonné au refroidissement lent, subit, à certaines températures appelées *points critiques*, des transformations physico-chimiques mises en évidence par des dégagements de chaleur. La trempe ou refroidissement brusque empêche ces transformations de se produire. M. Charpy s'est proposé de chercher à caractériser la nature des transformations qui correspondent aux différents points critiques et leur rôle par rapport aux modifications que subissent par la trempe les propriétés de l'acier, notamment les propriétés mécaniques. La méthode employée consiste à déterminer d'une façon précise, sur un même acier, les températures des points critiques et les propriétés qu'acquiert le métal lorsqu'on le trempe dans divers liquides après l'avoir chauffé à différentes températures. Le chauffage des échantillons est effectué d'une façon très régulière au moyen d'appareils chauffés par le passage d'un courant électrique dans un fil de platine; les températures sont déterminées au moyen du pyromètre de M. Le Chatelier.

En rapprochant les expériences antérieures de MM. Osmond, Howe, Arnold, Curie, etc. des résultats obtenus sur différents alliages contenant, soit du fer allié à des proportions variables de carbone, soit du fer, du carbone et des métaux tels que le tungstène, le nickel, le manganèse, le chrome, on arrive aux conclusions suivantes :

L'acier subit, sous l'influence d'une élévation de température, trois transformations distinctes correspondant à trois points critiques, a_1, a_2, a_3.

Ces points critiques, distincts dans les aciers pauvres en carbone (700°, 740° et 860° environ pour le fer presque pur), se confondent dès que la teneur en carbone dépasse 0,5 pour 100.

Le point a_1 correspond à une transformation de l'état du carbone, qui est caractérisée par une diminution apparente de la teneur en carbone indiquée par le procédé colorimétrique d'Eggertz. C'est à cette transformation qu'il faut attribuer presque complètement la modification des propriétés mécaniques de l'acier.

Le point a_2 correspond à une transformation du fer, caractérisée par la disparition du palier rectiligne que l'on observe dans les diagrammes représentant une déformation quelconque du métal en fonction de l'effort qui lui est appliqué (par exemple, dans le cas de la traction, le dia-

gramme qui représente la variation de l'allongement en fonction de l'effort de traction).

Le point a_3 correspond à une deuxième transformation du fer qui ne semble modifier que les propriétés magnétiques du métal.

MM. H. Abraham et J. Lemoine présentent à la Société deux modèles d'un *électromètre absolu* destiné à la mesure des potentiels très élevés. Le *modèle étalon*, construit avec une grande perfection par M. Carpentier, mesure *au millième* des potentiels qui atteignent 45000 volts. Le *modèle simplifié*, d'usage courant, a été construit par M. Torchebeuf; ses organes ont été modifiés, en vue d'arriver à une construction économique. On a néanmoins conservé une précision suffisante : cet instrument mesure les différences de potentiel à *un centième* près. L'isolement ayant été renforcé, il peut supporter des différences de potentiel de 100000 volts.

Modèle étalon. — C'est un électromètre balance à disque plan et anneau de garde analogue à celui que M. Baille a construit d'après le principe bien connu des électromètres de Lord Kelvin.

La balance est établie sur une table en laiton assez élevée. Le disque attiré, dont le rayon est de $5^{cm},95$, passe au travers de la table rigide et se trouve centré dans son anneau de garde (rayon extérieur $= 11^{cm}$) au moyen de boulon. L'anneau de garde est réglé par des vis de rappel. Toute cette partie de l'appareil est reliée au sol.

Le disque attirant est porté en son centre par une genouillère servant au réglage; il est isolé par une colonne de verre vernie à la gomme laque (longueur $= 0^{m},075$). Il est soutenu par un pied à crémaillère muni d'une fenêtre à vernier servant à mesurer les déplacements. La course du plateau est de $0^{m},05$.

Les mesures de l'appareil ont une précision de $\frac{1}{1000}$. Voici, en effet, les nombres d'une expérience de contrôle. Il s'agissait de mesurer un potentiel constant de 8500 volts pour différentes distances des plateaux. Le produit $d\sqrt{F}$ devant rester constant, on a obtenu

F (attraction).	d (distance).	$d\sqrt{F}$.
gr	cm	
9	0,633	18,99
16	0,475	19,00
25	0,379	18,95
36	0,316	18,96

Instabilité de la balance. — La balance étant chargée du poids que l'attraction électrique doit équilibrer, on monte le plateau inférieur jusqu'à ce que la balance culbute et l'observation se fait très nettement.

Cependant on peut opérer en équilibre stable à l'aide d'un quatrième couteau placé au-dessous du fléau et portant un poids variable qui ne dépasse jamais 100^{gr}.

Modèle simplifié. — Les organes de réglage de l'appareil précédent ont disparu. On met en place le disque attiré et son anneau de garde en faisant fléchir les tiges de cuivre rouge très doux qui les portent. On se sert d'une petite balance Roberval du commerce.

Sur la colonne isolante qui porte le disque électrisé on a mastiqué un disque de verre pour augmenter l'isolement. Grâce à cette disposition, l'appareil supporte 100000 volts sans qu'une étincelle parte le long de l'isolant. Quand on arrive à des potentiels aussi élevés, on recouvre le plateau inférieur d'une plaque de verre isolante très mince.

Les auteurs terminent leur Communication en faisant fonctionner les électromètres devant la Société.

M. Pierre Weiss présente à la Société une modification du galvanomètre astatique à quatre bobines de Thomson.

Le système astatique est obtenu au moyen de deux longues aiguilles d'acier suspendues verticalement, les pôles de nom contraire en regard, de façon que chaque aiguille ait un pôle dans la paire de bobines supérieure et l'autre dans la paire inférieure. Ce système a les avantages des circuits magnétiques presque fermés.

On peut donner à l'acier une aimantation résiduelle très forte et obtenir une valeur très élevée du rapport du moment magnétique au moment d'inertie et par conséquent une très grande sensibilité.

L'aimantation du système a une constance remarquable; elle ne peut d'ailleurs être modifiée ni par le champ des bobines ni par celui de l'aimant directeur qui ne peuvent qu'induire des aimantations transversales et par suite très faibles.

En outre, l'astaticité n'exige que le parallélisme des aimants avec l'axe de rotation et est indépendante de la grandeur de leur moment magnétique.

Les bobines diffèrent de celles des instruments habituels par une valeur moindre pour le rapport du diamètre extérieur au diamètre intérieur, qui est égal à 3. On démontre que le fil de même grosseur qu'on ajouterait extérieurement à ces bobines est plus nuisible par l'accroissement de la résistance qu'utile par l'augmentation du champ des bobines.

Si l'on appelle sensibilité S d'un galvanomètre le nombre de divisions qu'il indique pour un microampère divisé par la racine carrée de sa résistance, l'échelle étant à une distance du miroir égale à 2000 divisions et la durée de l'oscillation simple étant de 5 secondes, ce galvanomètre a donné

$$S = 1200,$$
$$S = 1500,$$

pour deux systèmes astatiques différents.

Ces nombres, obtenus avec un instrument grossièrement construit, doivent être considérés comme une limite inférieure de celui que donnera le modèle définitif, construit par M. Carpentier, qui figurera à l'exposition de la Société.

Comme point de comparaison, un galvanomètre Thomson du type habituel, étudié récemment par M. Wodsworth pour l'observatoire de Washington, pourvu des derniers perfectionnements et construit avec le soin le plus minutieux, a donné

$$S = 1350.$$

M. Pellat présente, au nom de M. Molteni, un *chalumeau oxy-éthérique,* destiné à saturer un courant d'oxygène de vapeur d'éther ou de gazoline, de façon à obtenir un gaz combustible, qui peut remplacer le gaz d'éclairage dans le chalumeau; un courant d'oxygène, non chargé de vapeurs combustibles, était comme d'habitude lancé dans la tubulure centrale.

Ce nouveau carburateur ne présente aucun danger d'explosion, même dans le cas, fréquent du reste, où la flamme rentre à l'intérieur du carburateur, car il est complètement bourré de matières spongieuses imbibées du liquide volatil et l'espace laissé au mélange détonant est presque nul.

Le chalumeau est porté par le carburateur même, ce qui empêche le refroidissement de celui-ci et constitue un ensemble très maniable.

M. Molteni fait fonctionner un régulateur à arc se réglant à la main, pouvant s'incliner pour mettre dans la position convenable la partie la plus brillante des charbons et extrêmement commode pour les projections.

Sur la mesure des potentiels très élevés. Électromètres absolus : modèle étalon, modèle simplifié;

Par MM. Abraham et J. Lemoine.

Le contrôle de la sensibilité d'un électromètre demande que l'on puisse obtenir un potentiel qui demeure constant pendant quelques minutes. Nous avons employé, pour atteindre ce résultat, la disposition suivante :

La machine électrostatique est animée d'un mouvement de rotation très régulier qui lui est donné par une petite machine dynamo-électrique. Les pôles sont armés de pointes entre lesquelles jaillit une effluve permanente. L'un de ces pôles est relié directement au sol. L'autre, à l'aide d'un conducteur médiocre (ficelle noyée dans la paraffine), communique avec l'armature intérieure d'une jarre dont l'armature extérieure est au sol. L'armature intérieure de la jarre prend un potentiel remarquablement constant.

Voici, comme contrôle, des mesures de ce potentiel, faites à quelques minutes d'intervalle :

m s	volts
0. 0	19970
0.40	19980
2. 0	19990
3.10	19980
4.50	19990
6.15	19980

Sans rien changer au dispositif, on peut opérer dans des limites très étendues; nous avons fait des mesures à 1000 volts et à 100000 volts. Le réglage est particulièrement facile et sûr entre 5000 volts et 50000 volts.

Électromètre absolu étalon. — Cet appareil est analogue à celui que M. Baille a construit autrefois sur le principe bien connu donné par Lord Kelvin.

La balance est à court fléau (bras de levier = 6^{cm}) et l'oscillation est limitée par des butoirs. Elle est établie sur une table solide en laiton, portée par quatre colonnes métalliques, à 28^{cm} au-dessus de la base de l'appareil (*fig.* 1). Cette table est percée d'une large ouverture circulaire qui laisse passer le disque attiré. Les bords de l'ouverture portent trois fortes vis de rappel qui soutiennent l'anneau de garde et permettent son réglage. Le disque mobile est maintenu centré dans l'anneau de garde au moyen de trois haubans horizontaux très légers, à peine tendus. Il a un rayon de $5^{cm},95$, calculé de façon qu'il soit attiré avec une force de 5^{gr} par un plan indéfini, parallèle, situé à 1^{cm} de distance et présentant avec lui une différence de potentiel de 10000 volts.

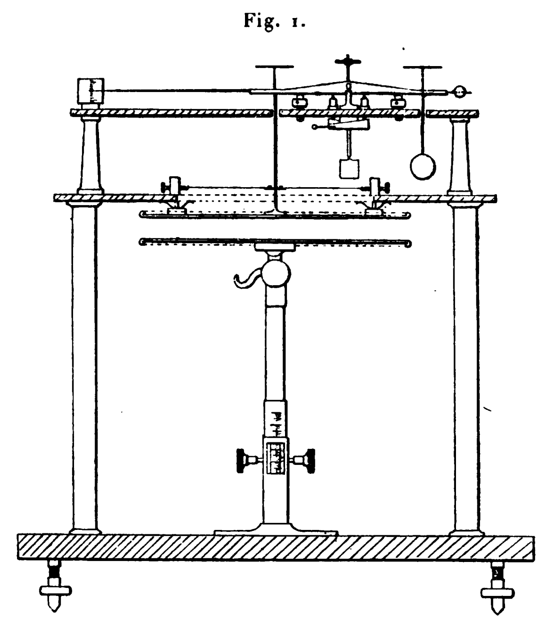
Ce disque est en aluminium. Il est accroché à l'une des extrémités du fléau de la balance et compensé par un contre-poids accroché à l'autre extrémité. Les écrous de réglage habituels sont placés sur le fléau. Les plateaux sont situés au-dessus des couteaux de suspension, et l'aiguille prolonge le fléau du côté opposé au contre-poids.

Cette balance donne aisément le milligramme.

Le socle de l'appareil, les colonnes montantes, la balance, le disque et l'anneau de garde forment un seul conducteur relié au sol.

Au-dessous du disque attiré se déplace verticalement un grand plateau horizontal isolé. Son rayon, égal à celui de l'anneau de garde, est de 11^{cm}; on le met en communication, au moyen d'un crochet qui se voit au-dessous, avec le conducteur dont on mesure le potentiel.

Fig. 1.



Il est soutenu en son centre par une genouillère servant au réglage. L'isolement est assuré par une colonne de verre de $7^{cm},5$ de hauteur, vernie à la gomme laque. La course du plateau est un peu inférieure à 5^{cm}. Ces déplacements sont produits et mesurés au moyen du pied à crémaillère, avec fenêtre à vernier, planté sur le socle.

Les plateaux, travaillés par une méthode de retouches locales, sont dressés au centième de millimètre. Leur distance, qui est de plusieurs centimètres, est mesurée au millième par le vernier; l'électromètre devra donc donner cette précision dans la mesure des potentiels. Ainsi, une différence de potentiel de 40000 volts sera mesurée à 40 volts près.

Pour faire une mesure, on soulève le plateau inférieur jusqu'à ce que l'attraction équilibre la surcharge placée d'avance. A ce

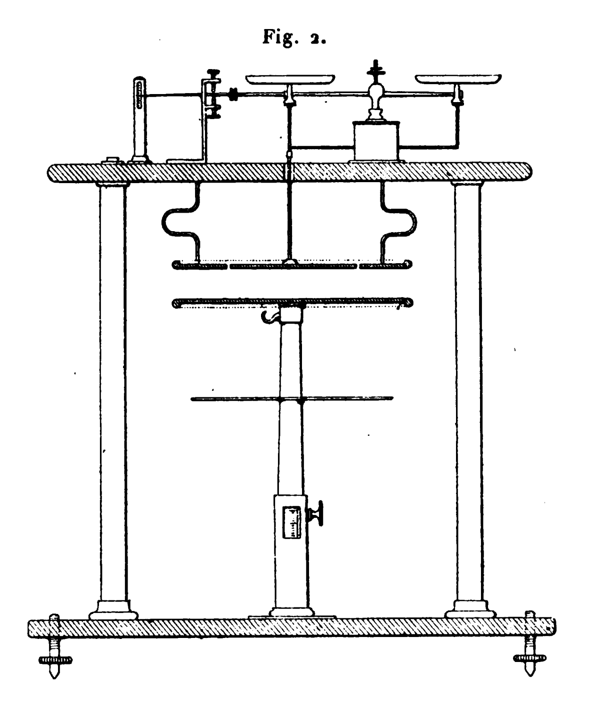
moment, la balance culbute, car l'équilibre est instable. Dans ces conditions, les mesures se font avec une grande netteté.

Cependant l'appareil permet d'opérer en équilibre stable en donnant au fléau un moment de stabilité suffisant. A cet effet, le fléau porte un quatrième couteau, situé à 6^{cm} au-dessous du couteau principal.

L'équilibre devient stable quand on suspend à ce couteau un plateau chargé d'un poids suffisant qui, d'ailleurs, n'excède jamais 100^{gr}.

Modèle simplifié. — Nous avons fait exécuter un modèle simplifié de cet appareil (*fig.* 2), d'un maniement plus commode et

Fig. 2.



se prêtant aux expériences de cours. La balance est une petite balance de Roberval du modèle commercial : elle est sensible au centigramme. Les réglages délicats ont été supprimés ; le disque mobile et l'anneau de garde sont mis en place par des flexions de leurs tiges de support. Ces tiges sont en cuivre rouge très doux.

D'autre part, l'isolement est renforcé. Les colonnes montantes sont entourées de tubes de verre et la tige du plateau inférieur supporte un large plateau de verre qui empêche les effluves vers le socle de l'appareil. On peut ainsi monter jusqu'à 100 000 volts et la précision atteint le *centième*.

APPLICATION. — CONTRÔLE DE L'EFFICACITÉ DE L'ANNEAU DE GARDE. — La formule de l'électromètre absolu à anneau de garde n'est correcte que si la distance des plateaux n'est pas trop grande par rapport aux dimensions de l'anneau de garde. Nous nous sommes proposé de déterminer expérimentalement à partir de quel écartement se ferait sentir l'influence perturbatrice des bords du condensateur.

A cet effet, opérant avec notre électromètre étalon, nous maintenons le potentiel V constant, et nous le mesurons successivement en équilibrant l'attraction des plateaux situés à la distance e par une force F, puis l'attraction des plateaux situés à la distance e' par la force F'. La formule de l'électromètre fournit la relation

$$V = ke\sqrt{F} = ke'\sqrt{F'} = \text{constante}.$$

Les expériences de contrôle pour les faibles distances présentent une concordance remarquable :

F.	e.	$e\sqrt{F}$.
gr	mm	
9	6,33	18,99
16	4,75	19,00
25	3,79	18,95
36	3,16	18,96

La constance du produit $e\sqrt{F}$ se conserve pour des distances plus grandes : dans une série d'expériences ayant duré sept minutes, on plaçait alternativement sur le plateau de la balance des poids de 20^{gr} et de 5^{gr}. Voici les valeurs moyennes trouvées pour les distances correspondantes e, et en regard les valeurs absolument concordantes ; on en déduit pour le potentiel V :

F.	e moyen.	V.
20^{gr}	$11^{mm},18$	$22\,360^{volts}$
5^{gr}	$22^{mm},34$	$22\,340^{volts}$

Mais, pour des distances plus grandes, la concordance cesse d'être satisfaisante. Aux grandes distances, l'influence des bords se révèle par une attraction trop faible, c'est-à-dire que le produit $e\sqrt{F}$, ou bien encore le potentiel calculé $V = ke\sqrt{F}$ décroît quand la distance croît. En voici un exemple :

F.	*e*.	$e\sqrt{F}$.	V.
20^{gr}	$14^{mm},60$	65,29	29200^{volts}
5^{gr}	$29^{mm},14$	65,15	29140^{volts}

Un écart de $\frac{1}{400}$ apparaît, déjà supérieur aux erreurs accidentelles.

Dès qu'on dépasse un écartement de 3 centimètres entre les plateaux, la diminution du produit $e\sqrt{F}$ s'accentue très rapidement et atteint $\frac{1}{100}$ quand la distance des plateaux arrive à 4 centimètres. L'appareil ne peut plus fournir alors de mesures absolues.

En définitive, nous croyons pouvoir conclure de ces déterminations que :

L'emploi de l'électromètre à disque plan et anneau de garde comme instrument absolu est légitime si la distance des plateaux ne dépasse pas la moitié de la largeur de l'anneau de garde.

Un galvanomètre extrêmement sensible;

PAR M. PIERRE WEISS.

Nous appellerons, avec MM. Ayrton, Mather et Sumpner (1), *sensibilité* S *d'un galvanomètre à miroir,* le nombre de divisions qu'il indique pour un microampère, l'échelle étant à une distance du miroir égale à 2000 divisions, la durée de l'oscillation simple étant de 5 secondes et la résistance des bobines de 1ω. Quand la résistance R est différente, on ramène la sensibilité à celle que donnerait un galvanomètre de même type, construit avec du fil de

(1) AYRTON, MATHER et SUMPNER, *On Galvanometers* (*Phil. Mag.*, 5e série, t. XXX, p. 58; 1890).

la grosseur nécessaire pour obtenir une résistance de 1ω en divisant la déviation observée par $\sqrt{R}$.

Soient, pour un galvanomètre astatique de Thomson à deux paires de bobines :

α l'angle, dont le système astatique est dévié par un courant d'intensité i;

Gi le champ produit au centre des bobines par le passage du courant i;

M le moment magnétique de la moitié du système qui se trouve dans l'une des paires de bobines;

J le moment d'inertie total du système;

τ la durée de l'oscillation simple; on a

$$\alpha = \frac{2M}{J}\frac{\tau^2}{\pi^2}Gi.$$

La sensibilité, évaluée conformément aux conventions précédentes, dépend donc de deux facteurs seulement, $\frac{M}{J}$ qui mesure la sensibilité du système astatique et $\frac{G}{\sqrt{R}}$ qui mesure celle des bobines.

Pour un équipage réduit aux deux aimants fixés sur une monture de masse négligeable et n'entraînant pas de miroir, la sensibilité est d'autant plus grande que les aimants sont plus courts, à intensité d'aimantation égale, le moment d'inertie décroissant avec la longueur, plus vite que le moment magnétique. Si l'on ajoute dans un tel système, à l'aimant unique dans chaque paire de bobines, plusieurs aimants *identiques* au premier, on multiplie le moment magnétique et le moment d'inertie par le même nombre, et la sensibilité ne change pas. Quand il y a un miroir, la sensibilité croît, au contraire, tant que le moment d'inertie du miroir n'est pas petit par rapport à celui des aimants. Dans la pratique, l'emploi d'un grand nombre de petits aimants très rapprochés ou d'aimants gros et courts est limité par l'action démagnétisante qu'ils exercent sur eux-mêmes et sur les aimants voisins.

On peut tourner cette difficulté en formant le système astatique de deux longues aiguilles verticales, parallèles à l'axe de rotation

et dont les pôles de nom contraire sont en regard, de façon à réaliser un circuit magnétique presque fermé. Chacun des deux systèmes de pôles voisins remplace un des aimants de la forme habituelle de l'équipage astatique et est placé au centre d'une des paires de bobines. L'absence presque complète de force démagnétisante permet alors de donner à l'acier le maximum d'aimantation permanente, même pour des aiguilles de fort diamètre et, en faisant décroître leur distance, on augmente à volonté le rapport du moment magnétique au moment d'inertie.

Pour ne pas allonger et alourdir inutilement les aiguilles, il faut que les axes des deux paires de bobines ne soient pas trop éloignés. On a donc intérêt à rapprocher les bobines jusqu'au contact, et à prendre leur diamètre extérieur aussi petit que possible. Si l'on se sert de fil de même grosseur pour toute la bobine, il est avantageux, indépendamment de toute considération sur le système astatique, de prendre le rapport du diamètre extérieur au diamètre intérieur plus petit qu'on ne fait d'habitude. Soient, en effet, Gi le champ dans une paire de bobines traversée par un courant d'intensité i, et R la résistance du galvanomètre; une forme de bobine donne un résultat d'autant meilleur que $\frac{G}{\sqrt{R}}$ est plus grand. Si l'on suppose la surface extérieure de la bobine homothétique de celle de la cavité dans laquelle se meuvent les aimants, $\frac{G}{\sqrt{R}}$ est maximum quand le rapport d'homothétie de ces surfaces est $1+\sqrt{3}$, c'est-à-dire pratiquement 3. Ce résultat est applicable, très approximativement, à des bobines cylindriques percées de part en part d'une cavité également cylindrique.

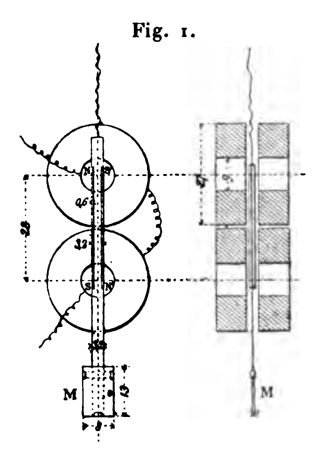
II. J'ai construit deux galvanomètres conformes aux indications précédentes. Dans le premier, le poids total du système mobile est de $0^{gr},47$, la partie magnétique est double et composée de deux systèmes de deux aiguilles aimantées de $0^{mm},6$ de diamètre et de 36^{mm} de longueur, dont les axes sont écartés de $2^{mm},6$, collés sur chacune des faces d'une lame mince de mica qui porte au-dessous des bobines un miroir concave M de $3^{m},75$ de rayon et 1^{cmq} de surface pesant $0^{gr},1$. Les bobines faites en fil de $0^{mm},22$ ont une résistance totale de 146ω, leurs diamètres extérieur et

intérieur sont 27^{mm} et 9^{mm}, et la dimension dans le sens de l'axe 8^{mm} pour chacune d'elles. Les parties essentielles de ce galvanomètre sont représentées en grandeur naturelle dans la figure ci-jointe. J'ai obtenu avec cet instrument $S = 110$.

Le deuxième galvanomètre est une réduction du premier dans le rapport de 9:5 quant aux bobines. Les deux aiguilles d'acier ont $0^{mm},2$ de diamètre et 18^{mm} de longueur, et leur écartement est de $1^{mm},2$. Le miroir pèse 8^{mg} et a une forme rectangulaire allongée dans le sens de l'axe (7^{mm} sur 2^{mm}), qui rend son moment d'inertie très faible.

Le fil de cocon ayant un couple de torsion trop fort, on a fait usage, pour la suspension, d'un fil d'araignée qui permettait d'allonger à volonté la durée d'oscillation au moyen d'un aimant directeur. Le mouvement devenait apériodique quand elle atteignait cinq secondes. J'ai trouvé, pour la sensibilité, $S = 1200$. Un système astatique, encore un peu plus léger, m'a donné $S = 1500$. Ces nombres, obtenus avec des équipages astatiques

Fig. 1.



grossièrement construits avec des matériaux quelconques, sont déjà très élevés, mais seront certainement dépassés dans le modèle définitif, dont M. Carpentier achève actuellement l'exécution avec son habileté bien connue. Je citerai comme terme de comparaison le galvanomètre étudié récemment par M. Wadsworth (1)

(1) Wadsworth, *Phil. Mag.*, 5e série, t. XXXVIII, p. 553; 1894.

pour l'observatoire de Washington qui donne $S = 1300$, avec un système astatique d'une construction plus minutieuse, l'application de procédés perfectionnés pour l'aimantation des aiguilles et des bobines construites suivant le profil théorique avec du fil de cinq grosseurs différentes. On ne saurait aller plus loin avec le système astatique à aiguilles horizontales, sans faire de la construction tout à fait microscopique comme M. Paschen ([1]).

III. Le système astatique à aiguilles verticales présente encore quelques autres avantages. Le circuit magnétique presque fermé assure une grande constance à l'aimantation. Le premier des deux systèmes que j'ai décrit avait, au moment de sa construction, en mars 1894, une durée d'oscillation de huit secondes dans le champ terrestre; elle a été trouvée inaltérée en décembre, bien que l'instrument ait beaucoup servi et ait été traversé à plusieurs reprises par des courants trop forts.

Pour les mesures balistiques, il était fréquemment étalonné par la méthode du solénoïde. Les nombres suivants, qui représentent le rapport de l'impulsion au courant inducteur, montrent la constance de la sensibilité :

11 mai 1894.....	1,461	13 mai 1894.....	1,462
» »	1,457	» »	1,469
12 mai »	1,467	» »	1,456
» »	1,463	» »	1,459
» »	1,463	» »	1,453
» »	1,463	» »	1,460
» »	1,458		

Les faibles variations qui restent sont attribuables aux variations de la résistance du circuit avec la température ou à des erreurs d'observation. On peut remarquer que la constance de l'aimantation est probablement due en partie à ce que les bobines et l'aimant directeur ne peuvent induire que des aimantations transversales et, par conséquent, très faibles dans les aiguilles verticales.

L'astaticité est plus facile à réaliser que dans la construction ordinaire : elle ne suppose en effet que le parallélisme des aimants

([1]) PASCHEN, *Wied. Ann.*, t. XXXXVIII, p. 284; 1893.

à l'axe de rotation et ne dépend pas de la grandeur de leur moment magnétique.

A sensibilité égale, le système magnétique est plus lourd et, par conséquent, moins sensible aux trépidations que les systèmes à aiguilles horizontales ([1]).

SÉANCE ANNUELLE.

RÉUNIONS DES MARDI 16 ET MERCREDI 17 AVRIL 1895,
à 8 heures très précises du soir.

Éclairage électrique de l'entrée du grand escalier et de la salle d'exposition au moyen de lampes Cance de 8 ampères. Éclairage de la salle d'entrée du 1er étage au moyen de lampes Cance (nouveau modèle) à faible intensité (2 ampères), par la.......... **Société Cance.**

Éclairage de la salle du conseil par les lampes Brianne de 2 ampères au maximum, construites par.......... **MM. Bisson, Bergès et Cie.**

Éclairage du vestibule par la.......... **Société française d'éclairage holophane.**

Ligne télégraphique artificielle construite dans les ateliers de l'Administration. — Dispositifs pour câbles à circulation d'air sec de M. **Barbarat.** — Actinomètres actinochimiques. — Relais pour transmissions souterraines et sous-marines de MM. **Maréchal** et **Rigollot** (construits par MM. *Ducretet* et *L. Lejeune*).......... **Direction générale des Postes et des Télégraphes.**

Electromètre absolu pour les potentiels très élevés. — Modèle d'usage courant (construit par M. *Torchebeuf*). — Modèle étalon (construit par M. *Carpentier*).......... **MM. Abraham et J. Lemoine.**

([1]) Une partie des avantages des systèmes astatiques à aiguilles verticales a été signalée par A. Gray (*Absolute measurements in Electricity and Magnetism*, vol. II, 2e Part., p. 30), mais ils n'ont pas été employés, à ma connaissance, pour obtenir une grande sensibilité.

Règle divisée donnant la valeur approchée des rayons et des foyers dans les ménisques (construite par MM. *F. Benoist, L. Berthiot et Cie*) .... M. **E. Amet.**

Appareils de mesures électriques industrielles. — Voltmètres et ampèremètres apériodiques permettant d'effectuer avec le même appareil des mesures pouvant varier dans le rapport de 1 à 3000. — Modèles portatifs pour ingénieurs. — Grands modèles pour laboratoires et stations centrales. — Ohmmètre portatif et à lectures directes pour les mesures rapides de résistances d'isolement. — Caisse portative de mesures électriques (dimension, $15^{cm} \times 18^{cm} \times 33^{cm}$) avec galvanomètre à miroir et suspension élastique permettant les mesures à $\frac{1}{100}$ près des résistances comprises entre 0,00001 et $0^{ohm},1$ par un pont double de Thomson, entre $0^{ohm},01$ et 1 mégohm par un pont de Wheatstone à décade, entre 100000 ohms et 20 mégohms par la simple déviation du galvanomètre, des différences de potentiel comprises entre 0 volt et 300 volts et des courants compris entre 0 ampère et 300 ampères. — Petite lampe à arc modèle 1895 à régime variable à volonté entre 1 ampère et 10 ampères .... MM. **Arnoux** et **Chauvin.**

Appareils physiologiques de haute fréquence (construits par M. *Gaiffe*) .... M. **d'Arsonval.**

Baromètre à cuvette mobile simplifié. — Soupape de sûreté pour trompe à eau (1er modèle). — Manomètre pour distillation dans le vide. — Appareil pour recueillir par fractions les distillations dans le vide. — Régulateur **Etienne.** — Appareil à distillation fractionnée de M. **Barillot** .... M. **G. Berlemont.**

Ozonateur statique nouveau modèle. — Machine Bonetti pour l'électrothérapie .... M. **Bonetti.**

Balais feuilletés. — Clichés en nickel .... M. **L. Boudréaux.**

Nouveau modèle de Lampe à faible intensité. — Démonstration. M. **Cance.**

Électromètre absolu, construit sur les données de MM. **Abraham** et **J. Lemoine.** — Galvanomètre de haute sensibilité, construit sur les données de M. **Pierre Weiss.** — Électromètre apériodique à miroir. — Wattmètre à miroir. — Wattmètre portatif. — Électrodynamomètre. — Galvanomètre **Deprez d'Arsonval** à microscope (modèle pyrométrique). — (Installation de galvanomètre **Deprez d'Arsonval** pour la mesure rapide des différences de potentiel. — Réducteur universel pour galvanomètre. — Résistance en fil de manganin. — Bobine d'induction à isolant liquide. — Photojumelle à long foyer et mise au point pour le service de la

Guerre. — Photo-jumelle, avec diaphragme iris adapté aux objectifs Zeiss; modérateur de vitesse. — Photo-jumelle stéréoscopique. — Support panoramique pour photo-jumelles. — Panorama du mont Blanc (Clichés de M. **Vallot**). **M. Carpentier.**

Stéréoscope à grand champ et à réglage (construit par M. *Pellin*).. **M. Cazes.**

Calorimètre de Bunsen avec tube de platine intérieur soudé directement au verre. — Trompes à eau nouveau modèle. — 3 types de manomètres à vide avec dispositif à soupape pour empêcher les rentrées d'eau dans les appareils. — Soupape en verre pour empêcher les rentrées d'eau dans les appareils reliés à une trompe à vide. — Pompe à mercure nouveau modèle sans robinet permettant de recueillir les gaz extraits. — Appareil de M. **Raoult** pour cryoscopie (Refroidissement par le sulfure de carbone). — Thermomètre à réservoir extrêmement petit à indications instantanées, divisions en degrés. — Thermomètre à réservoir extrêmement petit à indications instantanées, divisions en cinquièmes de degré. — Tube de M. **Cailletet** portant soudé à son extrémité supérieure un tube de platine susceptible d'être raccordé métalliquement à la pompe de compression. — Echantillons divers de soudures directes de tubes de très gros diamètres en cuivre et en platine à des tubes en verre. — Tubes en platine soudés directement au verre et déformés ou déchirés sous la pression sans que la soudure ait cédé. **M. V. Chabaud.**

Bélier hydraulique à pulsations rapides (construit par MM. *Rouart frères*).. **M. Decœur.**

Modèles en carton de nouveaux mécanismes à losange articulé. **M. N. Delaunay.**

Magnélectro universel ou générateur d'électricité. — Pile puissante régénérable pouvant servir d'accumulateur. — Nouvelle pile à double action donnant beaucoup plus d'électricité que les autres piles et avec une dépense moindre.. **M. Delaurier.**

Indicateur de Watt, nouveau modèle avec parallélogramme léger en tubes d'acier, robinet à grosse section, tension du ressort de rappel variable à volonté, pour machines à grande vitesse. — Pantographe réducteur pour courses variables s'adaptant à l'Indicateur ci-dessus et à tous autres modèles. — Loch électrique à hélice système **Baule**. — Gyroscope électrique dans le vide système **Fleuriais**, dernier modèle. — Règle typographique du capitaine **Delcroix**. — Boussole directrice du capitaine **Delcroix**. — Magnétomètre portatif pour démontrer la méthode de Gauss, pouvant aussi servir comme ampèremètre.. **M. A. Demichel.**

Hystérésimètre de M. **Marcel Deprez**. — Voltmètre ampèremètre de M. **Marcel Deprez**. — Dynamomètre enregistreur pour essais de papier à la torsion et à la traction. — Scléro-

mètre système **Mahler-Digeon**. — Appareil construit pour M. **Le Verrier** pour des essais sur la déformation d'une sphère soumise à une pression extérieure. — Sphéromètre pour mesurer la déformation produite sur les sphères dans l'appareil ci-dessus.. M. **Digeon.**

Appareil pour démontrer la production des courants induits par la variation d'intensité d'un aimant (construit par MM. *E. Ducretet et L. Lejeune*)........................ M. E. **Dubois.**

Grand spectroscope goniomètre à 4 prismes.— Appareil Norremberg et microscope polarisant de projection à grand modèle. — Petit spectroscope à vision directe avec micromètre oculaire sur pied. — Chambre photographique à magasin 9 × 12. — Microscope polarisant d'observation. — Diabétomètre à pénombres à lumière blanche............ M. **Albert Duboscq**

Réducteur de potentiel, pour l'utilisation des réseaux d'éclairage électrique (courants continus ou alternatifs pouvant atteindre 110 volts) pour les besoins de l'électrothérapie. — Appareil portatif pour la mesure de l'isolement des conducteurs. — Boîte de pile portative composée d'éléments au bioxyde de plomb à liquide immobilisé, de grande durée de conservation; elle donne 110 volts. Cette pile sert avec l'appareil pour les mesures d'isolement et pour l'application médicale des courants continus. — Expériences de **Tesla** et **Elihu Thomson** sur les courants alternatifs à très courte période et à haute tension : décharge oscillante, effets de self-induction, d'induction, physiologiques, thérapeutiques .(M. **d'Arsonval**), champ électrostatique. — Compteur d'intensité électrique de M. **E. Grassot**. — Chercheur de pôles nouveau modèle. — Appareil pour la vérification (essai rapide) des paratonnerres. — Galvanomètre sensible, enregistreur, pour les courants thermo-électriques, telluriques. — Batterie de bouteilles de Leyde isolées à la pecite.— Calorimètre industriel de M. **Junkers** pour la détermination pratique, rapide et précise, de la chaleur de combustion des gaz. — Photothéodolite de M. le Colonel **Laussedat**, petit modèle destiné aux explorateurs. — Gyroscope électrique, à mouvement continu, démonstration de la rotation de la Terre. — Nouveau radiomètre à ailettes non noircies, de M. **G. Seguy**; sa rotation est inverse de celle du radiomètre de Crookes. — Spectre artificiel de M. **Ch.-E. Benham**.— Châssis photographique pour la photographie des couleurs par le procédé **Lippmann**. — Magnétomètre pour la mesure de l'intensité absolue de la composante horizontale du magnétisme terrestre (Appareil construit sur les indications de M. **Hospitalier**)........... MM. **Ducretet et L. Lejeune.**

Nouvel appareil photographique à main en 6 ½ 9 et 9 × 12. Chambre stéréoscopique................................ M. **Ch. Echassoux.**

Machine électrostatique à grand débit. — Appareil de haute fréquence (Méthode de M. *d'Arsonval*)................. M. **Figueras.**

Cataphorès et bi-électrolyse (construits par M. *Chardin*).. M. le Dr **Foveau de Courmelles.**

Rhéostat liquide. — Vibrateurs. — Appareils physiologiques de haute fréquence de M. **d'Arsonval**.................... M. **Gaiffe.**

Voltmètre universel. — Moteur à gaz actionnant une machine dynamo donnant : 1° du courant continu pour charger des accumulateurs; 2° du courant sinusoïdal pour applications médicales. — Milliampèremètre pour courants alternatifs.
Étuve à vide dans le genre de celle de M. Sidesky, mais très modifiée. — Nouvel appareil pour faire le vide, marchant à l'aide d'un liquide gras et d'un simple piston servant à refouler les liquides. — Nouvelle trompe à eau. — Nouvelle étuve pour la stérilisation ou la fermentation. — Autoclave. — Etuve Gay-Lussac......................... MM. **Gautier jeune et Cie.**

Échantillons de charbon électrographite de la **Société le Carbone**. — Transformation du charbon en graphite par les procédés de.. MM. **Girard** et **Street.**

Expérience de démonstration des courants thermoélectriques. — Appareil de démonstration des phénomènes de résonance. M. **Ch.-Ed. Guillaume.**

Appareil pour la photographie du fond de l'œil (construit par MM. *Poulenc frères*). — Nouveau focomètre......... M. le Dr **Th. Guilloz.**

Appareil interférentiel pour contrôler les tourillons d'une lunette méridienne. — Appareil pour mesurer l'inclinaison des fils micrométriques d'un instrument méridien. — Pointeur destiné à enregistrer dix pointés successifs sur les tambours d'un micromètre. Ces divers appareils sont emembloyés à l'**Observatoire de Paris**...................... M. **Maurice Hamy.**

Baromètre de laboratoire................................. M. **Hémot.**

Force électromotrice d'aimantation........................ M. **Hurmuzescu.**

Méthode d'inscription électrochimique des courants alternatifs.. M. **P. Janet.**

Production des rayons cathodiques........................ M. **de Kowalski.**

Phénomène électrostatique de Kerr .... M. **J. Lemoine.**

Cinématographe ou appareil pour prendre les épreuves photographiques en série. — Agrandissements photographiques. MM. **Auguste et Louis Lumière.**

Photographies lunaires obtenues à l'**Observatoire de Paris.** MM. **Lœwy** et **Puiseux.**

Courbes d'égale épaisseur, de dixième en dixième de micron, d'un cube de quartz taillé par M. **Werlein**, destiné à la détermination de la masse du décimètre cube d'eau distillée, privée d'air au maximum de densité.

Le tracé de ces courbes est déduit de la détermination de variation d'épaisseur en 81 points pour chaque couple de faces, chaque détermination étant exacte à $0^{\mu},04$ près. La méthode de mesure est celle des franges de Talbot, en séparant les deux faisceaux au moyen de parallélépipèdes Mascart.

L'échelle est de $\frac{4}{1}$. Les dimensions réelles du parallélépipède sont 40^{mm}, $39^{mm},5$, 39^{mm}.

Photographie d'un goniomètre construit par MM. **Brünner** pour la Faculté des Sciences de Marseille. — Cercle répétiteur divisé en 5′. — Lectures au moyen de deux microscopes à oculaires micrométriques donnant les 2″ et à l'estime les 0″,2. — Collimateur indépendant, permettant de faire les lectures des microscopes quelle que soit l'orientation de la lunette.

Reproduction phototypique de cette photographie........ M. **J. Macé de Lépinay.**

Nouveau thermomètre à réservoir en platine (construit par M. *Hémot*).. M. **Marchis.**

Métaux et nouveaux composés préparés par M. **Moissan** dans son four électrique.................................. M. **Moissan.**

Chalumeau pour lumière oxyéthérique. — Régulateur à main pour arc électrique destiné aux projections.— Clichés photographiques de M. le C[te] **des Fossez**, médaillés à la Société française de Photographie en 1895.............. M. **Molteni.**

Le stéréochromoscope, appareil faisant percevoir les couleurs réelles d'objets obtenus par la Photographie............ M. **C. Nachet**

Cathétomètre modifié par M. **Battelli.** — Appareils de cours de M. **Leyritz.** — Siphon de démonstration de M. **Louis Serres**.. M. **Ch. Noé.**

Machine à courants alternatifs de 12000 watts. — Moteur à courants alternatifs de 8^{kgm}.— Moteur à courants alternatifs de 3 chevaux. — Moteur sans collecteur de 8^{kgm}...... M. **Patin.**

Nouvel appareil pour la mesure des pouvoirs inducteurs spécifiques des solides et des liquides. — Sirène à moteur électrique et à trous normaux aux plateaux (appareils construits par MM. *E. Ducretet* et *L. Lejeune*)........... M. **Pellat**

Photomètre universel de MM. **A. Blondel** et **A. Broca.** —

Diaphragme photométrique de M. **Creva** pour la détermination du degré d'incandescence de diverses sources de lumière. — Focomètre universel de M. le Dr **Georges Weiss**. — Stéréoscope à grand champ et à réglage de M. **Cazes**. — Stéréoscope médical de M. le Dr **Parinaud**. — Hémaspectroscope perfectionné de M. le Dr **Maurice de Thierry**. — Monochromatoscope de M. le Dr **Maurice de Thierry**. — Spectrophotomètre de M. **Mélander**. — Réfractomètre de M. **Féry**. — Goniomètre autocollimateur de M. **Féry**. — Expérience de M. **Meslin** : franges d'interférences produites par la réflexion de deux systèmes d'anneaux de Newton. — Tableaux de M. **Weber**, de Neuchâtel, pour montrer en projection les ondes sonores. — Pyromètre de M. **Le Chatelier**. — Appareil pour interférence des rayons polarisés de M. **Le Roux**. — Miroir à foyer variable de M. **Piltschikoff**. — Pupillomètre de M. **Ch. Henry**. — Expériences diverses.. M. **Ph. Pellin**.

Prisme de Saint-Gobain ayant servi à la détermination de la constante diélectrique du verre.......................... M. **Pérot**.

Appareil pour l'étude expérimentale du point critique des liquides. — Produits purs obtenus par les procédés de M. Raoul Pictet.. M. **Raoul Pictet**.

Balance de haute précision, nouveau modèle, à fléau jumelé, et métal inoxydable, arrêts sous les plateaux, suspension triangulaire évitant les faux départs, une seule tige à cavalier et un seul cavalier. — Glace platinée transparente (ancien procédé *Dodé* modifié par la maison *A. Pillon* et *J. Velter*).. MM. **A. Pillon** et **J. Velter**.

Vélomètre **de Place**, indicateur de vitesse pour cycles et pour toutes machines fixes ou mobiles. — Règle-allures. — Stéréocollimateur à lecture directe.............................. M. le Cap. **de Place**.

Constitution des cryohydrates. — Photographies des cristaux. M. **Ponsot**.

Spectre de l'argon (Tubes construits par MM. **C.-F. Muller**, de Londres)... Lord **Rayleigh** et M. **W. Ramsay**.

Météorographe de M. **Janssen** destiné à l'observatoire du mont Blanc. — Statoscope à cadran. Appareil de démonstration construit pour les cours du Conservatoire des Arts et Métiers. — Actinomètre à mouvement parallactique de M. **Violle**. — Anémoscope (girouette) enregistrant électriquement à distance ses indications au moyen de deux et de un fil. — Régulateur de température à servo-moteur. — Chronographe contrôleur à papier sans fin contrôlant le travail de 84 ouvriers. — Enregistreur de marche pour voitures mécaniques. — Nouveau voltmètre enregistreur

basé sur l'échauffement d'un fil pour les courants alternatifs. — Le Vérascope. Nouvel appareil à main de photographie stéréoscopique. Les diapositifs regardés avec le vérascope donnent l'illusion complète de la réalité. — Stéréoscope à rouleaux, disposé pour voir douze ou vingt-quatre vues vérascopiques sur pellicule .... **M. Jules Richard.**

Galvanoplastie d'art, or et argent, nouveaux procédés...... **M. Ch. Rivaud.**

Stérilisateur de MM. **Rouart frères**, avec régulateur de M. **Félix** .... **MM. Rouart frères.**

Photogrammètre. — Photogrammètre avec graphomètre universel pour explorateurs (construit par M. *Secretan*).... **M. H. Rousson.**

Lumen-mètre de M. **A. Blondel**, pour la mesure directe de l'intensité lumineuse moyenne sphérique des sources de lumière construit par.................................. **MM. Sautter et Harlé.**

La Turbine-pompe de la Société de **Laval**.................. **M. Sosnowsky.**

Microscope grand modèle construit spécialement pour les études bactériologiques sur les indications de M. le Dr **Roux**, modèle de l'Institut Pasteur............................ **M. Stiassnie.**

Spectroscope d'absorption, nouveau modèle. — Monochromatoscope (appareils construits par M. *Pellin*)............ **M. le Dr Maurice de Thierry.**

Aberroscope. — Optomètre de **Th. Young**. — Astigmomètre. **M. le Dr Tscherning**

Galvanomètre extrêmement sensible (construit par M. *Carpentier*).. **M. Pierre Weiss.**

Tubes pour l'étude des gaz très purs au voisinage du point critique.. **M. P. Villard.**

Photographies de l'arc électrique.......................... **M. Violle.**

RÉUNION DU MERCREDI 17 AVRIL 1895.

Sur quelques nouveaux mécanismes à losange articulé;

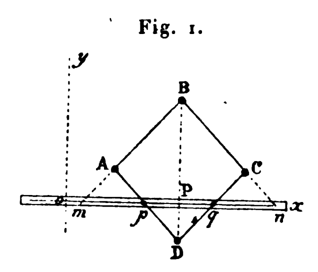
PAR M. N. DELAUNAY.

Les propriétés du mouvement d'un losange articulé, dont deux points se meuvent sur des courbes données, ne sont pas encore

complètement étudiées. Voici quelques exemples intéressants de ce mouvement.

1. *Projecteur.* — Je donne ce nom au mécanisme représenté par la *fig.* 1. Il se compose d'un losange ABCD et d'une règle, dans laquelle il y a une rainure Ox. Les points p et q, situés sur les tiges AD et DC, à égales distances du sommet D, sont assujettis à parcourir la rainure Ox. Il y a un théorème bien connu : *Quatre points m, p, q et n d'un losange articulé qui, dans une position particulière de l'instrument, sont en ligne droite,*

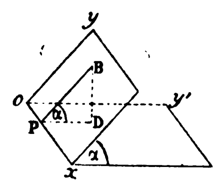
Fig. 1.



sont constamment en ligne droite. On voit bien que les triangles mBa et pDq sont semblables. Donc les hauteurs PB et PD de ces triangles doivent vérifier l'équation

$$\frac{PB}{PD} = \frac{Bm}{pD} = \text{const.}$$

Fig. 2.



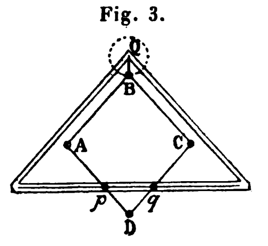
Prenons maintenant la droite Ox pour l'axe des abscisses et soit une perpendiculaire quelconque Oy, l'axe des coordonnées. On voit aisément que les abscisses des points B et D sont égales et la relation $\frac{PB}{PD}$ entre les ordonnées de ces points reste constante. Or, la même corrélation existe entre les coordonnées d'un point B (*fig.* 2) et celles de sa projection orthogonale. Donc, si, dans

l'appareil représenté par la *fig.* 1, le point B décrit une courbe quelconque, le point D décrit la projection orthogonale, rabattue sur le plan de la trajectoire du point B. L'instrument peut servir ainsi à raccourcir ou allonger les dessins dans une direction donnée. L'angle α de projection (*fig.* 2) est donné par la formule

$$\cos\alpha = \frac{PD}{PB} = \frac{pD}{mB}.$$

2. *Ellipsographe.* — Si le point B d'un *projecteur* décrit une circonférence, le point D décrit la projection orthogonale de cette circonférence, qui est une ellipse. Donc (*fig.* 3), en attachant

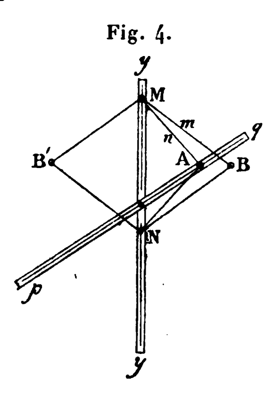
Fig. 3.



au point B une tige QB, qui tourne autour d'un centre fixe Q, on obtient un ellipsographe. En variant la distance QB, on obtient une série d'ellipses semblables. En variant la position des points p et q sur les tiges AD et CD, on fait varier l'excentricité des ellipses.

3. *Hyperbolographe.* — Je donne ce nom au mécanisme

Fig. 4.



représenté par la *fig.* 4. Il se compose d'un losange articulé

MNBB′, de deux règles dans lesquelles sont faites deux rainures yy et pq et de deux tiges AM et AN d'égale longueur, mais plus courtes que les tiges du losange. Toutes les tiges du mécanisme sont articulées entre elles aux points B, M, B′, N et A. Le point A est assujetti à parcourir la rainure pq. Prenons le point O de l'intersection des rainures yy et pq pour origine de coordonnées rectangulaires, dont les axes sont yy et Ox. Soient (x', y') les coordonnées du point A et (x, y) les coordonnées du point B. Soit BM = BN = B′M = B′N = m; AM = AN = n.

Il n'est pas difficile de voir que

(1) $$y = y',$$

$$x_1^2 = n^2 = \overline{b\mathrm{M}}^2 = n^2 - (m^2 - x^2),$$

ou

(2) $$x'^2 = x^2 - (m^2 - n^2).$$

Soit k la tangente de l'angle d'inclinaison de la droite pq sur l'axe Ox. L'équation de la droite pq est

$$y' = kx',$$

ce qui nous donne

$$y'^2 = k^2 x'^2.$$

Et, à cause des équations (1) et (2), on a

$$y^2 = k^2 x^2 - k^2(m^2 - n^2)$$

ou

$$\frac{x^2}{m^2 - n^2} - \frac{y^2}{k^2(m^2 - n^2)} = 1,$$

ce qui est l'équation d'une hyperbole.

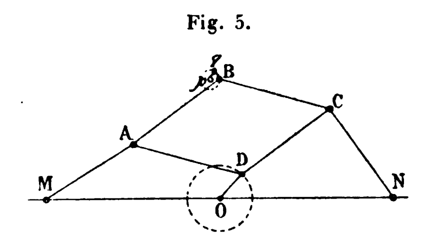
Ainsi, lorsque le point A parcourt la rainure pq, le point B décrit une branche de l'hyperbole; et, à cause de la symétrie, le point B′ décrit l'autre branche. La droite pq est l'asymptote de cette hyperbole.

4. *Duplicateur* (*fig.* 5). — Un losange articulé ABCD est articulé aux tiges MA et NC, qui oscillent autour des centres fixes M et N. Au milieu de la distance MN on prend un troisième centre fixe O, autour duquel tourne une tige OD. Si l'on a

$$\mathrm{AM} = \mathrm{CN} = \mathrm{AB} = \mathrm{BC} = \mathrm{CD} = \mathrm{DA},$$

on peut toujours choisir les distances OD *et* OM = ON *d'une manière telle que, pour chaque tour de la tige* OD, *le point* B *décrive une courbe qui diffère très peu d'une circonférence en la parcourant deux fois*. Si l'on prend un centre fixe *p* au centre de la circonférence, de laquelle la trajectoire du point B

Fig. 5.



ne diffère que très peu, et qu'on articule la tige *pq* avec le sommet B du losange à l'aide d'une petite tige *q*B, on arrive à la construction d'un mécanisme dans lequel le mouvement rotatoire de la tige OD se transforme en un mouvement de la tige *pq*. Il n'y a pas de points morts dans ce mécanisme et, *pour chaque tour de la tige* OD, *la tige pq en fait deux*. La relation des vitesses angulaires de ces deux tiges reste presque constante.

5. *Mécanisme à six membres mobiles pour la transformation d'une rotation en quatre mouvements rectilignes approximatifs*. — Tchebytchef a démontré qu'on peut transformer une rotation continue (et non seulement une oscillation) en un mouvement rectiligne alternatif approximatif avec un mécanisme qui ne contient que trois membres mobiles.

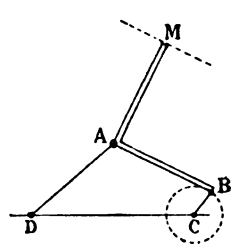
Ce mécanisme (*fig*. 6) est composé d'une tige CB, qui tourne autour d'un centre fixe C, d'une tige DA qui oscille autour du centre fixe D et d'une tige coudée BAM. Le point M décrit une courbe qui diffère très peu d'une droite, lorsqu'on a

$$\begin{aligned} AB = AD = AM &= 100, \\ DC &= 140, \\ CB &= 19, \\ MAB &= 89^\circ 40'. \end{aligned}$$

On peut même faire MAB $= 90^\circ$. Les mécanismes de Watt, d'Evans ne transforment en mouvement rectiligne que des oscil-

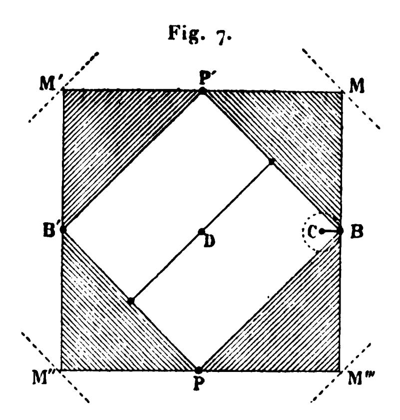
lations et pour la transformation d'une rotation continuelle à l'aide de ces mécanismes, il faut avoir encore une bielle et une manivelle. Le transformateur de Tchebytchef ne contient que

Fig. 6.



trois membres mobiles. En quadruplant, pour ainsi dire, le transformateur de Tchebytchef, je suis parvenu à la construction du mécanisme représenté par la *fig.* 7. C'est un losange articulé BPB′P′. Chaque membre de ce losange a la forme d'un triangle rectangle. Les milieux des côtés BP′ et B′P sont articulés avec la tige AA′ qui oscille autour du centre fixe D.

Fig. 7.



La tige CB tourne autour du centre fixe C. On voit que la partie DABCM n'est autre chose que le transformateur de Tchebytchef. Dans le mécanisme de la *fig.* 7, les points B et B′ parcourent des circonférences. Les points M, M′, M″ et M‴ décrivent des courbes planes peu différentes de droites; et les points P et P′ parcourent des courbes du sixième degré très peu différentes des

circonférences. Ce mécanisme n'a que six membres mobiles et deux centres fixes D et C.

En augmentant l'approximation de ce mécanisme, on diminue la marche des points M, M′, M″ et M‴. En posant (*fig.* 6)

$$AD = AB = AM = 1,$$
$$CB = r,$$
$$DC = p,$$

on a les formules de Tchebytchef :

$$r = \frac{2 \sin\psi . \sin 2\psi \sqrt{2 \cos 2\psi}}{\sin 3\psi}.$$
$$p = \frac{\sin 2\psi}{\sin 3\psi}.$$

L'angle ψ (la variable indépendante) doit avoir une valeur très rapprochée de 45°, mais moindre que 45°. Plus on approche ψ à la valeur 45°, plus on augmente l'approximation du tracé; mais, lorsque ψ devient égal à 45°, la valeur de r devient nulle.

SÉANCE DU 3 MAI 1895.

PRÉSIDENCE DE M. DE ROMILLY.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 avril est lu et adopté.

M. le PRÉSIDENT annonce à la Société les pertes douloureuses qu'elle vient de faire dans les personnes de M. le baron *d'Eichthal* qui fut l'un des bienfaiteurs de la Société, et de M. le comte *Léopold Hugo*, auteur de nombreuses Communications.

M. DE ROMILLY, ancien président de la Société, qui préside la séance en l'absence de MM. Cailletet et Bouty, veut laisser au président actuel le plaisir de rappeler, selon l'usage, les principales expériences effectuées et les principaux appareils exposés aux séances de Pâques, mais il pense exprimer le sentiment unanime, en remerciant sans retard toutes les personnes qui ont contribué à l'éclat des réunions et particulièrement M. le Secrétaire général, qui a tout organisé avec tant de zèle et d'habileté.

M. le SECRÉTAIRE GÉNÉRAL signale dans la correspondance deux Notes de M. Delaurier intitulées : 1° *Mémoire sur deux nouvelles piles;* 2° *Indication d'un procédé facile pour faire le vide parfait, même dans un grand récipient, sans aucun mécanisme.*

M. le PRÉSIDENT annonce l'ouverture d'une souscription pour la publication des œuvres, biographie et étude sur les Travaux de *L. Melsens.* — Les souscripteurs à la somme de 20 fr. recevront les œuvres complètes de Melsens, formant 3 volumes in-4°. — Les souscriptions devront être adressées à M. E. LAGRANGE, 60, rue des Champs-Elysées, à Bruxelles (Belgique).

M. FOUSSEREAU rectifie le résultat qu'il a donné, dans la séance du 1er mars, relativement au point de rencontre de l'axe secondaire correspondant à un point lumineux P placé devant une lentille infiniment mince, avec la droite focale déterminée par les rayons centraux groupés dans des plans parallèles à la section principale. En faisant disparaître une erreur de calcul, on arrive, sans rien changer à la méthode proposée, à la relation

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = \frac{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} - \cos\alpha}{(n-1)\cos^2\alpha} \frac{1}{f}.$$

Le lieu des points P' pour un objet plan est une surface de révolution dont le sens de courbure est celui qui a été précédemment indiqué, la valeur du rayon de courbure étant $\frac{n}{3n+1}f$ et demeurant indépendante de la position du plan-objet.

M. PONSOT rappelle l'équilibre osmotique considéré par MM. Gouy et Chaperon, équilibre qu'il a appliqué au point de congélation d'une solution aqueuse très diluée pour trouver des relations entre la concentration, l'abaissement du point de congélation, la diminution relative de la tension de vapeur des solutions qui suivent la loi de Van t'Hoff, $\pi V = iRT$.

Il montre comment on peut passer de cet équilibre à un équilibre considéré par M. Leduc entre la glace, l'eau et une solution au point de congélation de celle-ci.

Ce qui l'amène à établir un équilibre entre l'eau, la glace et sa vapeur à une température quelconque inférieure à celle du point triple de l'eau, et il en donne la démonstration.

Cet équilibre peut être compris ainsi : si dans un milieu infini à température invariable on a deux tubes A et B très longs, verticaux, de même section et de même longueur; dans l'un A de l'eau en surfusion et au-dessus sa vapeur, dans l'autre B de l'eau surmontée de glace agissant comme un piston, et au-dessus de la vapeur d'eau; si l'on met ces tubes en communication par leur partie supérieure, il s'établit un équilibre tel qu'ils con-

tiennent alors même poids de substance et par conséquent qu'en les reliant par leur partie inférieure il y a équilibre hydrostatique.

Il montre comment cet équilibre est la représentation d'un cycle isotherme fermé et réversible, ce qui identifie l'équation de l'équilibre hydrostatique et celle exprimant que la somme des travaux extérieurs dans le cycle est nulle.

Il montre qu'un pareil équilibre peut être considéré entre la glace et une solution saline au-dessous du point de congélation de celle-ci;

Qu'on ne peut en supposer un semblable pour les autres corps que l'eau et leurs solutions, d'une part, et le corps solide et sa vapeur d'autre part, alors qu'on peut cependant considérer un cycle isotherme fermé et réversible au-dessus du point triple ou du point de congélation.

Il établit que le point de congélation d'une solution est un point triple, que l'abaissement théorique du point de congélation ne peut différer, pour les dissolutions étendues, de l'abaissement expérimental que d'une quantité impossible à mesurer.

Il considère ensuite un équilibre osmotique entre une solution aqueuse et la vapeur d'eau : la pression osmotique varie dans ce cas depuis o jusqu'à la valeur qu'elle atteint lorsque la vapeur se condense en eau pure. Il rappelle que, dans ce cas, la pression osmotique augmente encore si l'on exerce une pression sur l'eau.

Il conclut que la pression osmotique développée dans une solution ne saurait avoir pour cause celle qu'on attribue à la force élastique des gaz : c'est une force d'attraction de l'eau ayant son siège dans la paroi semi-perméable et se transmettant hydrostatiquement dans toute la solution.

La relation de Van t'Hoff, $\pi V = iRT$, applicable seulement à quelques solutions, ne l'est que dans un cas très particulier du phénomène osmotique : celui où l'eau ne supporte d'autre pression que celle de la vapeur qu'elle émet.

M. Chauveau expose à la Société les procédés d'observation employés dans ses *Recherches sur l'électricité atmosphérique au voisinage du sommet de la Tour Eiffel,* recherches faites pour le Bureau central météorologique.

Il rappelle d'abord la disposition de l'enregistreur de M. Mascart, employé dans les observatoires français, en indiquant quelques modifications, importantes au point de vue pratique, des différentes parties de cet appareil :

1° Une forme nouvelle donnée au réservoir d'eau assure un écoulement à peu près constant pendant 24 heures et par suite une position sensiblement fixe du point de séparation des gouttelettes liquides.

2° A la pile à eau ordinairement employée pour charger les secteurs de l'électromètre et dont l'état de polarisation, variable avec le temps, se trouve encore modifié chaque fois que l'on renouvelle le liquide évaporé, on substitue la pile au sulfate de magnésie, préconisée pour cet usage par M. Damien. La force électromotrice en est remarquablement constante.

3° Le *déplacement du zéro* qui est, pour des observations continues, le grand défaut de l'électromètre de M. Mascart, a pu être entièrement supprimé par la disposition suivante : au milieu du vase de verre contenant l'acide sulfurique et dans lequel plonge le conducteur de charge, on place un vase plus petit, lesté avec du mercure et renfermant de la glycérine; la tige de l'aiguille plonge dans ce liquide sans toucher au mercure. Un cavalier de platine établit une communication conductrice entre l'acide sulfurique et la glycérine, par laquelle se fait ainsi la charge de l'aiguille.

4° L'enregistreur à horloge de M. Mascart est un excellent instrument d'observatoire, mais son volume le rend un peu encombrant. Il a été remplacé par un cylindre de Richard monté horizontalement et sur lequel le papier photographique est enroulé, la face sensible en dedans. On évite ainsi le contact des doigts sur cette surface et les courbes obtenues à travers l'épaisseur du papier sont parfaitement nettes.

M. Chauveau décrit ensuite l'installation de ses appareils au-dessus de la plate-forme du troisième étage de la Tour. Le réservoir d'eau est placé à l'extrémité de l'un des quatre arceaux qui soutiennent la lanterne du phare et le tube d'écoulement s'allonge jusqu'à $1^{m},50$ environ de la carcasse métallique de l'arceau. Dans ces conditions et bien que le jet d'eau se produise à l'intérieur d'une surface fictive reliant les pointes des paratonnerres latéraux de la terrasse au paratonnerre central, l'intensité des phénomènes observés est environ 25 fois plus considérable qu'au voisinage du sol, et les potentiels à mesurer dépassent fréquemment 8000 volts.

Cependant, dans les conditions spéciales où l'on se trouve à cette altitude, dans un air net de toutes poussières, l'isolement des différentes parties de l'appareil peut être obtenu facilement et l'on a pu employer avec le même succès, tantôt des isoloirs à la paraffine, tantôt des isoloirs en verre desséché par l'acide sulfurique.

La difficulté véritable réside dans la mesure de ces potentiels élevés.

Il y a quelques années, M. Hopkinson, puis MM. Ayrton, Perry et Sumpner ont signalé et étudié ce fait que la déviation de l'aiguille, dans l'électromètre à quadrants, présente, pour des potentiels croissants, une valeur limite qui, si la sensibilité restait constante, correspondrait à 3000^{volts} ou 3500^{volts}. L'explication théorique de ce phénomène n'a pas été donnée jusqu'ici. Il est facile de voir qu'elle est une conséquence de l'existence du couple directeur électrique et d'un défaut de symétrie inévitable dans le système formé par l'aiguille et les secteurs.

A défaut d'un instrument qui ne paraît pas encore avoir été réalisé sous une forme appropriée aux observations d'électricité atmosphérique, on a pu, par un artifice fort simple, utiliser l'électromètre à quadrants pour la mesure de très hauts potentiels, tout en restant dans les limites ordinaires de la sensibilité de cet appareil. Il suffit, pour cela, de placer, entre la source et l'électromètre, une cascade de petits condensateurs bien isolés. En faisant varier le nombre des éléments de la cascade, on peut donner à l'aiguille telle fraction que l'on veut du potentiel primitif.

M. Chauveau montre les appareils dont il s'est servi et remet à une Communication ultérieure la discussion de ce procédé expérimental, dont les résultats sont excellents.

M. Cazes présente un stéréoscope destiné à l'examen *correct* d'épreuves de *grandes dimensions*, obtenues avec des distances focales pouvant varier de $0^m,15$ à $0^m,45$. Cet appareil, obligeamment construit par M. Pellin, se compose de quatre miroirs plans : deux petits, dits *oculaires*, perpendiculaires entre eux, comme dans le stéréoscope de Wheatstone, et deux plus grands, parallèles aux précédents et dont la distance à ceux-ci peut varier dans de larges limites, tout en conservant le parallélisme. L'ensemble est porté sur un pied à trois branches par l'intermédiaire d'une colonne verticale le long de laquelle coulisse une plate-forme horizontale recevant les épreuves.

Les positives 13×18 présentées à l'examen ont, pour la plupart, servi à un lever topographique dans les Pyrénées.

Regrettant que l'heure avancée ne lui permette pas de développer à cette occasion la méthode générale peu connue de stéréoscopie à relief exact, qui, selon lui, est susceptible de nombreuses applications dans les Sciences expérimentales, M. Cazes renvoie à sa brochure : *La Stéréoscopie de précision*, et se met à la disposition des opérateurs qui éprouveraient quelque difficulté soit dans l'obtention, soit dans l'examen des épreuves.

Note sur la Stéréoscopie à relief exact;

Par M. L. Cazes (¹).

Définitions. — 1. A défaut de connaissances préalables sur l'objet représenté, une perspective unique ne peut donner aucune indication sur la position réciproque qu'occupent dans l'espace les divers points qu'elle représente. Deux perspectives, *prises de deux points de vue différents*, permettent, au contraire, de reconstituer soit l'objet primitif, soit un objet semblable; si l'on procède à cette reconstitution par une méthode géométrique, telle que celle des intersections, on fait de la *Phototopographie;* si la reconstitution a lieu dans l'espace par l'intersection de rayons visuels, on fait de la *Stéréoscopie*.

(¹) Cette Note est, à peu de chose près, un résumé succint de mon Ouvrage : *La Stéréoscopie de précision*, Paris, 1895.

2. Il importe de distinguer soigneusement *le relief* stéréoscopique de *la sensation* du relief.

Le relief sera exact toutes les fois que l'objet réel qu'il faudrait substituer aux épreuves pour produire identiquement la même sensation sera *semblable* à l'objet qui a fourni les perspectives, quel que soit, d'ailleurs, le rapport de similitude. Cet objet réel n'est autre que le lieu géométrique des points d'intersection des rayons visuels correspondants pris deux à deux; je le désignerai par le nom d'*objet reconstitué.*

La sensation du relief sera d'autant plus vive, plus intense, que nous pourrons plus exactement et plus facilement apprécier les rapports entre les dimensions transversales et les dimensions en profondeur; elle ne saurait jamais être excessive.

C'est la confusion de ces deux notions qui a fait bien souvent dire que *le relief était exagéré*, alors qu'il était parfaitement correct, parce que *la sensation* de relief s'imposait, dans ces cas, avec une intensité qu'on n'est pas accoutumé à trouver dans la vision de la nature, où les objets ne sont pas égaux aux objets reconstitués, quoique semblables, ni placés à la même distance.

Théorie sommaire. — 3. *Netteté des épreuves.* — La sensation du relief dépend, en particulier, de la netteté dans toutes leurs parties des épreuves qui servent à la reconstitution stéréoscopique. On admet généralement qu'une acuité visuelle moyenne permet de distinguer deux points distants de 0′30″ d'arc; il suit de là que la netteté au $\frac{1}{10}$ de millimètre, reconnue comme bonne dans les images photographiques ordinaires, exige une distance focale de 30^{cm} au moins. Si l'on désire rester dans les meilleures conditions de netteté, il paraît difficile de descendre bien au-dessous de 20^{cm} de distance focale, du moins avec les couches usuelles au gélatino-bromure.

Le diaphragme sera, autant que possible, choisi de telle sorte que tous les plans utiles soient reproduits avec la même netteté.

4. *Conditions de possibilité de la reconstitution stéréoscopique.* — Deux épreuves distinctes étant placées devant les yeux, de telle sorte que les rayons visuels correspondants se coupent, il existe *géométriquement* un objet reconstitué; mais il ne s'en-

suit pas que la reconstitution *stéréoscopique* ait toujours lieu. *Celle-ci ne pourra se produire que si l'objet reconstitué* (2) *a des dimensions en profondeur assez faibles pour qu'on puisse voir nettement chacun de ses points, sans que l'accommodation varie.*

En effet, la vision binoculaire d'un objet reconstitué par la stéréoscopie et celle d'un objet réel de mêmes dimensions, placé à la même distance et dans la même position, ne diffèrent qu'en ceci : tandis que les ouvertures des pinceaux lumineux limités aux pupilles et ayant pour sommets les divers points de *l'objet réel* sont *variables* avec la distance aux yeux des divers points de cet objet, ces ouvertures sont, au contraire, *indépendantes* de cette distance dans la vision *stéréoscopique,* les sommets de ces pinceaux étant tous placés dans le plan des épreuves [1]. Il suffira, pour rétablir l'identité physiologique des deux visions, de rendre les différences assez petites pour n'être point perçues.

5. Désignant par d la distance aux yeux du plan de front de l'objet reconstitué le plus rapproché de l'observateur; par p la distance qui sépare ses deux plans de front extrêmes et par k une constante, la condition ci-dessus s'exprime par la relation

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{d+p} = \frac{1}{k}. \tag{1}$$

La constante k dépend, à vrai dire, de l'acuité visuelle de l'observateur et du diamètre de sa pupille. On peut cependant lui attribuer, dans tous les cas, une valeur unique comprise entre 3^m et $3^m,50$, soit, comme je l'ai fait, $3^m,30$; mais il doit rester bien entendu que toutes les évaluations à faire en vue de l'application de la formule ci-dessus pourront n'être qu'approchées et faites, la plupart du temps, *à l'estime* (11).

6. Pour que la vision stéréoscopique produise une sensation de relief d'intensité *maxima,* l'objet reconstitué, dont le premier

---

[1] Ou sur la transformée optique de ce plan, si l'on interpose un système dioptrique ou catoptrique.

plan est à la distance d des yeux, devra avoir une dimension en profondeur égale à p, d'après la formule (1).

Quand il y aura plusieurs manières de remplir cette condition, on choisira celle qui convient le mieux au but que l'on se propose, sans qu'il puisse être donné, à cet égard, de règle générale et absolue.

7. *Conditions d'exactitude.* — L'exactitude du relief stéréoscopique ne dépend que de la manière de regarder les épreuves, celles-ci étant exemptes de déformation. Voici les conditions nécessaires et suffisantes pour que ce relief soit exact (2) :

1° Les épreuves (ou les images virtuelles égales aux épreuves) seront placées à une distance des yeux égale à leur distance principale (longueur focale des objectifs employés) ;

2° Chaque œil sera sur la direction principale de l'épreuve qui lui correspond ;

3° Le plan perpendiculaire à une épreuve et passant par les deux yeux aura pour trace, sur cette épreuve, la trace sur le cliché correspondant du plan passant par les deux points nodaux postérieurs des objectifs et par le point principal du cliché ;

4° L'angle des deux directions principales sera le même lors de la vision qu'au moment de la prise des épreuves ; il est prudent de faire ces angles égaux à zéro (9).

8. *Remarque.* — Le rapport entre la distance Δ qui séparait les objectifs et la distance δ qui sépare les yeux de l'observateur est précisément le rapport d'homologie entre les dimensions du sujet et les dimensions de l'objet reconstitué (11).

9. *Plan unique.* — Il est commode, pour réaliser les conditions qui viennent d'être énoncées, de mettre les épreuves dans un même plan ; en pratique, on ne procède pas autrement. Il en résulte (7, 4°) que les plaques sensibles devront aussi être amenées dans un même plan. A moins de raisons particulières, il n'est pas nécessaire ni utile que ce plan soit vertical.

APPLICATIONS. — A. *Prise des épreuves.* — 10. Quand on

ne voit dans la stéréoscopie qu'un simple délassement, il peut être agréable de conserver à l'objet reconstitué les dimensions du sujet. Dans ce cas, le rapport d'homologie étant 1, les objectifs seront distants de l'intervalle même des yeux de l'observateur. La distance des objectifs au premier plan de front du sujet sera au moins égale à la valeur de d, tirée de la formule (1) en y introduisant la valeur particulière de p fournie par le sujet. Si p est très grand par rapport aux valeurs disponibles de d, on le fait infini, et l'on a alors

$$d = k = 3^{m},30.$$

11. Mais lorsqu'on veut faire servir la stéréoscopie à des recherches ou à des vérifications, il y a avantage à disposer ses points de vue de façon à ne photographier que les parties utiles du sujet. En pareil cas, si l'on s'en tenait à l'unité pour rapport d'homologie, l'objet reconstitué se trouverait souvent avoir une dimension en profondeur très inférieure à celle que donne la formule (1) et la sensation de relief serait trop faible pour permettre une évaluation (6). En faisant une reconstitution n fois plus petite et n fois plus rapprochée, on arrive facilement à faire occuper à l'objet reconstitué toute la profondeur p qui correspond à d, et l'on a alors la sensation *maxima* du relief. Pour cela, il suffit de prendre une base Δ ou un écartement d'objectifs égal à n fois l'intervalle des yeux δ. Tout revient donc à déterminer n.

Voici, en général, comment on peut arriver à cette détermination.

Soient :

D la distance aux objectifs du premier plan de front du *sujet;*
P la dimension en profondeur du *sujet*, ou la distance de ses deux plans de front extrêmes.

Ces deux quantités étant connues, au moins approximativement (5), écrivons

$$(2) \qquad \frac{1}{D} - \frac{1}{D+P} = \frac{1}{K}.$$

Les relations suivantes, qui doivent être réalisées pour que le

relief soit exact,

$$(3) \qquad \frac{\Delta}{\delta} = \frac{D}{d} = \frac{P}{p},$$

combinées avec (1) et (2), donnent

$$(4) \qquad \frac{\Delta}{\delta} = \frac{K}{k} = n.$$

Mais on peut trouver dans chaque cas particulier, et à l'aide de Tables construites d'avance, des procédés plus rapides pour calculer n.

B. *Examen des épreuves.* — **12.** Il est essentiel, pour examiner correctement des épreuves stéréoscopiques, de les placer d'emblée dans la position qui convient et qui est déterminée par les conditions d'exactitude données plus haut (7). Il faut surtout éviter de rechercher par tâtonnements, la position qui permet de voir *le plus facilement :* on serait à peu près sûr alors de voir un objet *déformé.* En conséquence, les épreuves devront être accompagnées de toutes les indications nécessaires, telles que : 1° *la longueur focale* des objectifs employés (distance à la plaque sensible du point nodal postérieur) (7, 1°); 2° la position du *point principal* (projection orthogonale du point nodal postérieur sur la plaque sensible) (7, 2°); 3° *la trace* sur chaque plaque sensible du plan passant à la fois par les deux points nodaux postérieurs et par le point principal (7, 3°); 4° *l'angle* des deux directions principales, s'il est différent de zéro (7, 4°).

13. Les épreuves étant convenablement placées, on peut alors, si la vision stéréoscopique est pénible, prendre des lunettes à verres convergents ou divergents, qui permettent de voir nettement et sans fatigue; la convergence de ces verres peut même être calculée d'avance, si l'on possède la valeur $\frac{D}{\Delta}$ nécessaire pour déterminer à quelle distance d des yeux se trouve le premier plan de l'objet reconstitué $\left(d = \delta \frac{D}{\Delta}\right)$.

Je n'indique pas ce calcul de convergence que chacun sait faire.

SÉANCE DU 17 MAI 1895.

PRÉSIDENCE DE M. BOUTY.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le Procès-Verbal de la séance du 17 mai est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. BAGARD, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Dijon.
BASSÉE (Jules-Charles), Constructeur d'instruments de Physique, à Paris.
BOUCHEROT (Paul), Ingénieur de la Société des établissements Weyher et Richemond, à Noisy-le-Sec.
DIGEON (J.), Ingénieur-Constructeur, à Paris.
ETIENNE (Louis), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées et de la Compagnie P.-L.-M., à Paris.
GUINARD (A), Armurier, à Paris.
KOROLKOFF, Lieutenant-Colonel d'artillerie russe, Professeur de Physique à l'Académie d'artillerie, à Saint-Pétersbourg (Russie).
MICHEL (Auguste), Constructeur d'instruments de Physique, à Paris.
SECRETAN (G.), Ingénieur opticien, à Paris.
TORCHEBEUF (Ch.), Constructeur d'instruments de Physique, à Paris.
TURPAIN, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Bordeaux.
TOUPOT (l'abbé J.-C.), Professeur à l'Ecole Fénelon, à Bar-le-Duc.
WEILLER (Lazare), Ingénieur manufacturier, à Paris.

M. BOUTY, Vice-Président, en l'absence du Président, remercie en ces termes les personnes qui ont pris part à l'Exposition annuelle :

« MESSIEURS,

» Les séances annuelles de la Société française de Physique prennent d'année en année plus d'éclat; j'en ai pour garant le nombre toujours croissant des exposants et l'affluence de nos membres de province. Depuis plusieurs années, les Compagnies de chemin de fer, toujours attentives à favoriser les hautes manifestations scientifiques, se sont faites nos auxiliaires et les demandes de billets à prix réduit auxquelles elles ont fait droit ont dépassé cette fois le nombre de cent.

» Le concours empressé que nous prêtent les Administrations et les établissements publics, les grandes Sociétés industrielles, les constructeurs et les savants qui réunissent leurs efforts pour assurer le succès de nos séances de Pâques, témoigne hautement de la prospérité de notre Société, du bon renom qu'elle a acquis au dehors, des services qu'elle rend à tous, en un mot, de l'excellence de son œuvre telle que l'avait conçue d'Almeida et que vous avez su la réaliser, Messieurs. Je regrette qu'en me chargeant de vous en remercier ce soir notre cher Président, M. Cailletet,

n'ait pu me déléguer aussi son autorité, sa haute compétence scientifique et industrielle. Les intéressés voudront bien m'excuser du tort involontaire que je leur fais en prenant sa place.

» Grâce à l'activité de notre Secrétaire général M. Pellat, si bien secondé par le dévouement modeste de M. Sandoz et par la bonne volonté de tous, le programme de nos réunions est toujours très varié. Il comprenait, cette année, une visite aux ateliers de M. Weyher et Richemond : M. Boucherot, ingénieur, vous y a montré une remarquable installation du transport de l'énergie électrique par les courants biphasés et triphasés et vous a donné sur place toutes les explications désirables. La Société prie MM. Weyher et Richemond et M. Boucherot d'agréer ses remercîments.

» Deux conférences ont eu lieu le 17 avril dans le local de la Société : l'une de M. Raoul Pictet, le savant auquel l'étude de la chaleur doit de si curieux progrès, notamment dans le champ exploré d'abord par Cagniard-Latour et Andrews; l'autre de M. Delaunay qui vous a montré et expliqué des mécanismes articulés d'une ingéniosité rare.

» La partie matérielle de nos expositions laisse peu à désirer, grâce au local très approprié que la Société d'encouragement met à notre disposition et au brillant éclairage dont la Société Cance, qui en est coutumière, a voulu, comme les années précédentes, prendre à sa charge la plus grande part. Vous avez remarqué des efforts heureux pour rendre pratiques les foyers électriques à faible intensité : la salle d'entrée du premier étage était éclairée par des lampes Cance de 2 ampères et la salle du Conseil par des lampes Brianne aussi de 2 ampères, construites par MM. Bisson, Bergès et C[ie]. Le gaz était représenté par la Société française d'éclairage holophane et vous avez pu constater dans le vestibule d'entrée le bel effet des becs Auer munis des globes diffuseurs de MM. Blondel et Psaroudaki.

» Vous avez récemment entendu un savant illustre qui vous présentait le nouveau gaz extrait de l'atmosphère, l'*argon;* et vous n'avez pas ménagé vos applaudissements à la découverte si imprévue, si digne d'admiration de Lord Rayleighet et de M. Ramsay. Chacun de vous a pu voir le spectre de l'argon, grâce à des tubes préparés à Londres par M. Müller, qui a bien voulu nous les envoyer.

» La Direction générale des Postes et des Télégraphes avait exposé un ensemble remarquable d'appareils, notamment une ligne télégraphique artificielle construite dans ses ateliers; l'Observatoire de Paris a mis sous vos yeux les appareils de mesure et de contrôle si ingénieux de M. Hamy et les magnifiques photographies lunaires obtenues par MM. Lœwy et Puiseux au grand équatorial coudé que les Membres de la Société connaissent bien. M. Jules Richard vous a présenté le météorographe de M. Janssen, destiné à l'observatoire du mont Blanc, dont les clichés de M. Vallot, présentés par M. Carpentier, vous offraient d'autre part le panorama merveilleux.

» Le côté pittoresque de notre exposition se complétait par les appareils si variés que M. Carpentier rattache à sa photo-jumelle, par le curieux

stéréoscope de M. Cazes, de construction si simple et dont le relief est saisissant, l'exposition de M. Molteni avec les clichés photographiques de M. le comte des Fossez, le photogrammètre de M. Rousson, les appareils de M. Echassoux, de MM. Auguste et Louis Lumière, les collaborateurs bien connus de M. Lippmann, le stéréochromatoscope de M. Nachet, enfin le remarquable vérascope de M. Richard.

» L'industrie était non moins brillamment représentée par les moteurs à courants alternatifs de M. Patin, les procédés galvanoplastiques de M. Rivaud, les échantillons de charbon électrographite de la Société *le Carbone*, obtenus par les méthodes de MM. Girard et Street, le stérilisateur de MM. Rouart frères et de M. Gautier jeune, les appareils à distillation fractionnée de M. Barillot, présentés par M. Berlemont.

» Une partie de notre Exposition, et ce n'est certes pas celle qui nous tient le moins à cœur, se rapporte aux travaux de recherche accomplis par nos Membres de Paris et surtout de la province.

» Parmi ces derniers, M. Macé de Lépinay, dont la Société apprécie les patientes investigations dans le domaine de l'Optique, exposait une photographie du grand goniomètre de Brunner, dont il fait usage, et des courbes d'égale épaisseur relatives à des étalons construits par M. Werlein; M. Pellin nous a montré les expériences de M. Meslin sur les anneaux de Newton; M. Chabaud, les appareils de cryoscopie de M. Raoult; M. Marchis, un nouveau thermomètre à réservoir de platine construit par M. Hémot; M. Pérot, un grand prisme de Saint-Gobain qui lui a servi dans ses expériences sur les constantes diélectriques; M. Dubois un appareil de démonstration.

» Mes Collègues parisiens ne m'en voudront pas de ne les mentionner qu'après leurs hôtes de province et d'être bref en ce qui les concerne; je me borne à signaler les photographies de l'arc électrique de M. Violle et les métaux et composés nouveaux préparés par M. Moissan à l'aide de son four électrique; les élégantes expériences de M. Janet sur l'inscription électrique des courants alternatifs, de M. de Kowalski sur les rayons cathodiques, de M. Ponsot sur les cryohydrates, de M. Hurmuzescu sur les forces électromotrices d'aimantation, l'aberroscope et l'astigmomètre de M. le Dr Tscherning.

» Vous avez vu les électromètres absolus de MM. Abraham et Lemoine, le galvanomètre si sensible et ingénieux de M. P. Weiss dans l'exposition de M. Carpentier; dans celles de MM. Ducretet et Lejeune, deux appareils de M. Pellat : une sirène électrique d'une admirable régularité et d'un maniement très sûr, un dispositif délicat pour la mesure des constantes diélectriques; dans celle de M. Pellin, le photomètre universel de MM. Blondel et Boca et les appareils de M. de Thierry; dans celles de M. Gaiffe, les appareils physiologiques à haute fréquence de M. d'Arsonval; le Lumenmètre de M. Blondel, présenté par MM. Sautter et Harlé.

» Dans cette revue rapide, les noms des physiciens sont bien souvent inséparables de ceux des constructeurs qui leur ont prêté le concours actif,

et le plus souvent bien désintéressé, de leur expérience. J'ai plaisir à signaler ici cette tradition si honorable des constructeurs français, toujours prêts à s'associer à la recherche purement spéculative, cette source vive des grandes et belles applications, où leur industrie se régénère. J'aimerais à en multiplier les preuves, mais le temps me presse et je dois me borner à signaler les appareils électriques et mécaniques présentés par M. Demichel, tels que le gyroscope électrique de M. Fleuriais; l'hystérismètre et le voltmètre de M. Marcel Deprez, présentés par M. Digeon; le cathétomètre de M. Battelli, par M. Noë. Il serait trop long de vouloir décrire, même sommairement, les diverses formes d'appareils originaux présentés par MM. Carpentier, Pellin, Ducretet et Lejeune, Richard, Chabaud dans l'exposition duquel vous avez remarqué des soudures variées de platine sur verre, Bonetti, Boudréaux, Albert Duboscq, Pillon et Velter, les successeurs du regretté M. Deleuil, Torchebeuf, etc.

» Nous vous remercions tous, Messieurs, sans distinction, des efforts que vous faites pour doter la Science ou l'Industrie de nouveaux moyens d'action. L'accueil que les Membres les plus compétents de la Société de Physique ont fait individuellement à vos inventions ou à vos appareils nouveaux est pour chacun de vous un précieux témoignage, auquel mes paroles ne pourraient rien ajouter. »

M. Daniel Berthelot expose une nouvelle méthode pour la mesure des températures. Il a cherché à réaliser une méthode permettant d'évaluer les températures élevées et fondée uniquement sur les propriétés des gaz; les corps gazeux seuls peuvent, en effet, conduire à une évaluation de la température comptée sur l'échelle thermodynamique. La mesure des indices de réfraction fournit le principe d'une telle méthode; les physiciens modernes ont en effet reconnu que la réfraction $n - 1$ d'un gaz varie exactement comme sa densité, et, par suite, à une densité donnée d'un gaz correspond toujours un même indice, la pression et la température pouvant être différentes. Pour appliquer le principe on séparera en deux un faisceau lumineux au moyen d'un appareil interférentiel; l'une des parties du faisceau traversera un tube rempli d'un gaz à la température ambiante, l'autre un second tube rempli du même gaz, mais porté à la température inconnue; on ramènera les franges à leur position initiale, soit en diminuant la pression dans le tube froid, soit en l'augmentant dans le tube chaud; on aura ainsi un appareil thermométrique à pression constante, ou à densité constante à volonté.

Il convient d'opérer en lumière blanche et de séparer beaucoup les rayons interférents de façon qu'ils puissent traverser des milieux portés à des températures très différentes; M. Berthelot a employé à cet effet des miroirs de Jamin combinés à des parallélépipèdes de Fresnel. Les extrémités du tube chaud, dont la partie centrale est maintenue à température fixe par un manchon où circulent diverses vapeurs, sont refroidies par des courants d'eau; on peut tenir compte, par le calcul, de l'influence de la

région à température variable comprise entre la partie centrale et l'extrémité ; mais il vaut mieux l'éliminer en faisant deux mesures successives avec des tubes de longueurs centrales différentes.

Pour justifier sa méthode, M. Berthelot a mesuré les températures de vapeurs d'alcool, d'eau, d'aniline, bouillant sous des pressions comprises entre 740^{mm} et 763^{mm}; les résultats sont exacts à $\frac{1}{10}$ de degré près. Il se propose d'appliquer la méthode à la mesure des températures très élevées; il signale encore, en terminant, une étude accessoire qu'il a pu faire : l'étude du refroidissement d'un gaz; avec le procédé qu'il a imaginé, on peut aisément suivre les variations de températures, même les plus rapides, qui échapperaient à un thermomètre ordinaire.

M. Cornu signale un dispositif qu'il a employé pour obvier, dans les mesures du genre de celles de M. Berthelot, à l'influence fâcheuse des déplacements accidentels des franges; il divise le second faisceau lumineux en deux parties : l'une continuant à passer dans le tube froid, tandis qu'il dirige l'autre partie dans le tube chaud, traversé aussi par tout le premier faisceau; on conçoit aisément comment ce dispositif permettra d'évaluer le déplacement du zéro.

M. Berthelot dit que dans ses expériences les déplacements des franges étaient peu à craindre. Son appareil était installé dans les caves du laboratoire d'enseignement à la nouvelle Sorbonne, sur des piliers extrêmement stables; et d'ailleurs, opérant en lumière blanche, il repérait facilement la frange centrale.

M. Pellat a fait construire, par la maison Ducretet et Lejeune, un nouvel appareil pour mesurer le pouvoir inducteur spécifique des solides et des liquides. Cet appareil consiste en un double électromètre absolu de lord Kelvin; les deux plateaux mobiles A et A′ sont placés l'un au-dessus de l'autre et reliés entre eux par une tige rigide; celle-ci est fixée à l'un des bras du fléau d'une balance très sensible, dont l'autre bras porte un plateau et un amortisseur à air du système Curie. Les deux anneaux de garde B et B′ sont reliés par un pourtour cylindrique en laiton, de façon à former une boîte percée seulement de quelques ouvertures nécessaires. Cet ensemble est toujours au même potentiel que le sol. En face des plateaux mobiles et des anneaux de garde se trouvent deux plateaux parallèles : l'un C au-dessus de AB, l'autre C′ au-dessous de A′B′, reliés métalliquement entre eux, mais formant un système isolé du sol. Le plateau inférieur C′ est fixe; le plateau supérieur C peut être déplacé parallèlement à lui-même par une vis micrométrique identique à celle d'un sphéromètre et portant, comme dans cet instrument, un limbe divisé en 500 parties, chaque division correspondant à un déplacement d'un micron. Un microscope à réticule vise une croisée de fil portée par la tige qui relie les plateaux mobiles A et A′; la coïncidence des deux croisées de fil est

réglée de façon que, quand elle a lieu, le plateau supérieur A est exactement dans le plan de son anneau de garde B. Un ressort en hélice très délicat est fixé en un point du fléau de la balance et est tendu en haut par un fil de cocon qui s'enroule sur un petit treuil; en agissant sur celui-ci on fait varier la tension du ressort, ce qui permet de parfaire la tare avec beaucoup d'exactitude.

Pour déterminer le pouvoir inducteur spécifique d'un corps solide, on place une lame à face parallèle de ce corps entre AB et C. On fait la tare, puis on établit une différence de potentiel entre CC' d'une part et AB A'B' de l'autre, et l'on règle la position du plateau C de façon que l'équilibre persiste, quand on établit ou supprime la différence de potentiel. Après avoir enlevé la lame diélectrique, on refait la même opération ; la quantité a dont il a fallu rapprocher le plateau C et l'épaisseur e de la lame diélectrique font connaître son pouvoir inducteur spécifique K par la relation

$$K = \frac{e}{e - a}.$$

Pour déterminer le pouvoir inducteur spécifique K d'un liquide, on commence par déterminer la distance d du plateau C au plan AB qui maintient l'équilibre quand on établit la différence de potentiel, l'air étant le seul diélectrique existant dans l'appareil. On répète ensuite cette opération après avoir immergé, dans une cuve contenant le liquide étudié, le plateau C', l'anneau de garde B' et le plateau mobile A', de façon que le liquide baigne sur ses deux faces chacun de ces plateaux; soit d' la distance de C à AB qui maintient l'équilibre, quand on établit la différence de potentiel; le pouvoir inducteur spécifique est donné par

$$K = \left(\frac{d}{d'}\right)^2.$$

Sur une nouvelle méthode pour la mesure des températures;

PAR M. DANIEL BERTHELOT.

La mesure des hautes températures est un problème encore imparfaitement résolu au point de vue expérimental.

Les diverses méthodes que l'on a proposées peuvent se répartir en deux groupes, suivant qu'elles sont fondées sur les propriétés des gaz ou sur celles des solides.

Les méthodes fondées sur les gaz sont les seules qui paraissent actuellement susceptibles de donner une évaluation directe de la

température dans l'échelle thermodynamique. Les gaz obéissent, en effet, à des lois relativement simples et bien connues, et l'élévation de température ayant pour effet de les rapprocher de l'état gazeux parfait, ces lois se vérifient de mieux en mieux, quand la température croît. Les solides et les liquides, au contraire, obéissent à des lois plus complexes et plus mal connues, et, de plus, l'accroissement de température fait subir à ces corps des changements très profonds et souvent permanents, avant même les points de fusion et d'ébullition.

On conçoit par là la supériorité des méthodes fondées sur les propriétés des gaz. Il n'existe aujourd'hui qu'une méthode de ce genre : c'est celle du thermomètre à gaz. Satisfaisante en théorie, elle est d'une pratique délicate. Le volume du thermomètre à gaz étant assez volumineux, quand on le place dans une enceinte chauffée, il est difficile de savoir si tous ses points sont à une température uniforme, et surtout si l'objet qu'on lui compare est rigoureusement à la même température. Aussi ne doit-on pas être surpris de voir que, au voisinage de 1000°, les divers observateurs donnent, pour les constantes les plus importantes, telles que le point de fusion de l'or, des nombres qui varient de plus de 40°. De plus, cet instrument ne s'appuie pas seulement sur les propriétés des gaz, mais encore sur celles des solides, puisqu'il comprend une enveloppe de métal ou de porcelaine, dont il faut connaître la dilatation. Il en résulte que, bien loin de permettre d'évaluer, comme on pourrait le supposer, *a priori*, les plus hautes températures de nos laboratoires, il ne permet guère de dépasser 1200°, point au delà duquel la porcelaine ou le platine se ramollissent, se fendent facilement ou deviennent perméables aux gaz.

Les méthodes fondées sur les propriétés des solides (méthodes thermo-électriques, des résistances électriques, calorimétrique, photométrique), grâce aux remarquables progrès des physiciens contemporains, sont devenues d'un usage relativement facile et permettent d'atteindre des températures un peu plus élevées. Les méthodes électriques principalement sont entrées dans la pratique courante des laboratoires; mais elles offrent un caractère commun : elles ne donnent pas une évaluation directe de la température cherchée. Les instruments qui les réalisent doivent être

préalablement étalonnés au moyen d'un certain nombre de points fixes déterminés avec le thermomètre à gaz. Cet étalonnage est sujet à l'incertitude signalée plus haut pour ce thermomètre. De plus il résulte de ce mode même de graduation, que les indications de tous ces instruments ne sont rigoureuses que dans l'intervalle des températures directement repérées avec le thermomètre à gaz. Quand on les emploie par extrapolation, on n'obtient plus que des valeurs dont le degré d'approximation est fort difficile à évaluer. Aussi existe-t-il souvent entre les indications des divers moteurs, pour les températures supérieures à 1000°, des écarts de plusieurs centaines de degrés.

On voit donc l'utilité qu'il y aurait à établir une méthode nouvelle, fondée sur les propriétés des gaz et complètement indépendante de la nature et des dimensions de l'enveloppe thermométrique : de manière qu'on pût obtenir des indications directes dans l'échelle thermodynamique au delà des points de ramollissement ou de fusion des corps solides.

Il m'a paru que la mesure des indices de réfraction pouvait fournir la base d'une telle méthode. En effet, les expériences des physiciens modernes ont fait voir que la réfraction d'un gaz, c'est-à-dire l'excès $n - 1$ de l'indice sur l'unité, varie exactement comme la densité, soit que l'on modifie cette densité par un changement de pression, soit qu'on la modifie par un changement de température.

En ce qui concerne la pression, cette relation a été établie par M. Mascart [1] au moyen d'expériences faites sur une échelle étendue (o à 8 atmosphères) sur les gaz permanents (hydrogène, air, etc.) aussi bien que sur les gaz facilement liquéfiables (acide carbonique, cyanogène, etc.). Elle a été vérifiée depuis par d'autres observateurs entre des limites encore plus écartées.

En ce qui concerne la température, M. Benoît [2], par des expériences très précises faites sur l'air entre o° et 80°, a retrouvé à $\frac{1}{3000}$ près le coefficient de dilatation de Regnault. Les expériences que l'on trouvera plus loin étendent cette vérification jusqu'à 184°. MM. Chappuis et Rivière [3] ont abouti à la même

---

[1] *Ann. de l'École Normale supérieure*, 2e série, t. VI; 1877.
[2] *Journal de Physique*, 2e série, t. VIII; 1889.
[3] *Ann. de Chim. et de Phys.*, 6e série, t. XIV; 1888.

conclusion pour le cyanogène, dont le coefficient de dilatation est très notablement différent de celui de l'air. Il semble donc bien qu'il s'agisse là d'une relation générale, variable pour tous les gaz.

En rapprochant ces deux séries d'expériences, on conclut qu'*à une densité donnée d'un gaz correspond toujours un même indice*, la température et la pression pouvant être différentes. Cette relation est indépendante de la forme même de la fonction qui lie l'indice et la densité. Tel est le principe de la méthode nouvelle.

Au moyen d'un appareil interférentiel, on décompose un faisceau lumineux en deux parties qui traversent deux tubes remplis d'un même gaz. On note la position initiale des franges. On porte l'un des tubes à la température qu'il s'agit de mesurer, sa pression restant égale à la pression atmosphérique. La densité du gaz diminuant, les franges se déplacent. On diminue alors la pression dans le second tube jusqu'à ce que les franges soient revenues à leur position primitive. Supposons, pour simplifier le raisonnement, que la longueur des deux tubes, à ce moment, soit la même. Les franges étant revenues au zéro, la densité du gaz est la même dans les deux tubes. Or on connaît la pression et, par suite, la densité du gaz dans le tube froid. On connaît donc la densité du gaz chaud et l'on en déduit sa température.

La description précédente est celle du *thermomètre interférentiel à gaz à pression constante*. On peut réaliser un *thermomètre interférentiel à gaz à densité constante,* en ramenant les franges non par diminution de la pression dans le second tube (tube froid), mais par augmentation de la pression dans le premier tube (tube chaud). Dans ce cas, le second tube devient inutile et peut être supprimé.

La réalisation de cet appareil présente plusieurs difficultés. Tout d'abord on ne saurait, comme on fait dans les mesures d'indices, opérer en lumière homogène et compter le nombre de franges déplacées, les variations de température ne se laissant pas régler à volonté comme les variations de pression. Il convient d'opérer en lumière blanche, en prenant pour repère la frange centrale. L'inconvénient ordinaire résultant de la dispersion est sans influence ici.

La principale difficulté consiste à séparer suffisamment les

rayons interférents pour qu'ils puissent traverser des milieux portés à des températures très différentes.

Les instruments classiques tels que les miroirs de Fresnel, les lentilles de Billet, les bilames de M. Fizeau, les lames épaisses de Jamin n'écartent pas les rayons de plus de 1^{cm} à 2^{cm}, ce qui est tout à fait insuffisant. L'appareil de M. Michelson sépare les rayons à angle droit, mais, outre qu'il exige des pièces optiques d'une perfection rare, il est d'un réglage fort difficile, surtout si les miroirs sont à des distances de plusieurs mètres comme dans mes expériences.

J'ai eu recours à l'emploi combiné des miroirs de Jamin et des parallélépipèdes de Fresnel. Un faisceau de lumière tombe sur une lame épaisse de Jamin qui le divise en deux. Un parallélépipède de Fresnel ([1]) réfléchit totalement l'un des rayons et le renvoie parallèlement à sa direction primitive, après l'avoir déplacé d'une quantité égale à sa longueur. L'écartement des deux rayons était de 92^{mm} dans mes expériences. Un second parallélépipède rétablit la distance primitive des deux rayons un peu en avant de la seconde lame épaisse.

Le réglage de ce système se fait sans difficulté d'une manière analogue à celui des lames épaisses de Jamin. On place d'abord les lames et les parallélépipèdes sur des trépieds horizontaux munis de trois vis calantes et d'une vis de rappel. On les dispose en réglant géométriquement, aussi bien que possible, la marche des faisceaux. On enlève ensuite les parallélépipèdes; on règle les lames épaisses en lumière jaune, puis en lumière blanche. On remet alors les parallélépipèdes et, en agissant sur les vis de l'un d'eux, on règle définitivement les franges en lumière jaune, puis en lumière blanche.

La stabilité si nécessaire dans toutes les expériences de ce genre a été obtenue en plaçant les appareils sur de gros et lourds piliers, situés dans les caves du laboratoire d'Enseignement physique à la nouvelle Sorbonne, piliers scellés dans les fondations

([1]) M. Mascart, qui a signalé l'emploi de ces parallélépipèdes pour obtenir des faisceaux interférents très écartés en lumière homogène, a bien voulu me prêter ceux qu'il possède. Pour obtenir des interférences en lumière blanche, j'ai dû les faire retailler par M. Jobin, qui a parfaitement réussi cette délicate opération.

mêmes de l'édifice. La température de ces caves est fort constante, circonstance favorable aux mesures ([1]).

Sur le trajet du premier rayon est placé un tube relié à une machine pneumatique et à un manomètre. Sur le trajet du second est un tube dont la partie centrale est entourée d'un manchon où circulent des vapeurs à diverses températures et dont les deux extrémités sont refroidies par des courants d'eau.

Entre la partie centrale chaude à la température fixe T et les extrémités refroidies à température fixe t, s'étendent deux régions à température variable.

On peut en tenir compte par le calcul. Le chemin optique parcouru par un rayon dans un milieu d'indice n et de longueur l est nl; si n varie, ce chemin est $\int n\,dl$. Or, entre deux plans à températures T et t, en supposant la conductibilité de l'air constante et la chute de température linéaire, d'après la théorie de Fourier, on trouve, pour l'air,

$$\int n\,dl = l\left(1 + 0,791\,\frac{\log\text{nép}\,\dfrac{T}{t}}{T - t}\right).$$

Si l'on tient compte de la variation de conductibilité de l'eau avec la température, α étant le coefficient de variation qui est égal à $\frac{1}{500}$ environ, la variation de température, d'après Fourier, est parabolique, et l'on trouve

$$\int n\,dl = l\left[1 + 0,791\,\frac{\alpha(T - t) + \log\text{nép}\,\dfrac{T}{t}}{T\left(1 + \dfrac{\alpha}{2}T\right) - t\left(1 + \dfrac{\alpha}{2}t\right)}\right].$$

Ces formules donnent des résultats très approchés, mais pas tout à fait rigoureux; ceci tient à ce qu'on suppose que la distribution des températures obéit à une loi régulière dans chaque région, jusqu'au plan de séparation de cette région avec la suivante. Or il n'est pas douteux qu'au voisinage de ces plans il ne se produise des perturbations. Comme il est très difficile d'en

---

([1]) C'est pour moi un devoir de remercier M. Bouty qui a bien voulu mettre à ma disposition, pour ces recherches, les ressources de son laboratoire.

tenir compte théoriquement, j'ai préféré adopter une méthode rigoureuse et indépendante de toute hypothèse. J'élimine l'influence des régions variables par compensation en faisant deux expériences successives avec deux tubes ne différant que par la longueur de la région centrale et en prenant la différence des résultats. Il n'est pas nécessaire, d'ailleurs, de répéter chaque fois cette double mesure; il suffit de la faire une fois pour connaître la constante de l'appareil à une température donnée.

Je me suis proposé, dans une première série d'expériences, faites entre 0° et 200°, de justifier le principe et de montrer la rigueur de la méthode nouvelle.

J'ai fait des mesures, sous des pressions comprises entre 740mm et 763mm, avec les vapeurs d'alcool, d'eau et d'aniline.

Voici quelques-uns des nombres obtenus :

Alcool.			Eau.			Aniline.		
	Température			Température			Température	
Pression.	observée.	calculée.	Pression.	observée.	calculée.	Pression.	observée.	calculée.
741,50	77,69	77,64	740,10	99,20	99,26	746,48	183,62	183,54
748,15	77,74	77,86	752,80	99,63	99,74	756,85	183,74	184,07
762,94	78,47	78,36	755,64	99,96	99,84	760,91	184,50	184,28
			761,04	100,01	100,04			

Les températures d'ébullition théoriques ont été calculées par les formules suivantes, dans l'échelle du thermomètre à air :

$$\text{Alcool} : 78,26 + \frac{H - 760}{29,7},$$

$$\text{Eau} : 100 + \frac{H - 760}{27,25}, \qquad \text{Aniline} : 184,23 + \frac{H - 760}{19,6}.$$

Je signalerai, en terminant, un problème intéressant qu'elle résout avec facilité : c'est celui de la mesure des variations rapides de température des gaz. Ce cas se présente en Météorologie à propos des vents chauds et intermittents qui sont très fréquents dans divers pays. Les thermomètres ordinaires, comme le thermomètre à mercure, s'appliquent fort mal à ce cas : la masse des solides étant énorme par rapport à celle des gaz, et le verre étant mauvais conducteur, ils exigent un temps assez long pour se mettre en équilibre avec le gaz. Les thermomètres de petite masse, les

thermomètres à réservoir de platine atténuent l'inconvénient sans le faire disparaître. La méthode interférentielle proposée plus haut donne une solution rigoureuse. J'ai fait plusieurs séries de déterminations en partant des masses gazeuses à diverses températures et en les laissant se refroidir ensuite sous la pression atmosphérique ordinaire. Les mesures se font sans difficulté.

En résumé, la nouvelle méthode permet de prendre la température d'un milieu par le simple examen d'un rayon lumineux qui l'a traversé. Elle est fondée sur les propriétés des gaz. Elle est indépendante de la nature de l'enveloppe thermométrique et même de sa forme et de sa dimension, car il suffit de fixer les points d'entrée et de sortie du rayon lumineux sans placer ni tube ni appareil quelconque au sein même de la masse gazeuse dont on veut déterminer la température : elle permet par là d'opérer sur les gaz contenus dans l'extérieur des hauts fourneaux, du four électrique, etc.

Mais bien qu'elle soit tout à fait générale et qu'elle s'applique aussi bien aux basses températures et aux températures ordinaires qu'aux températures élevées, c'est surtout dans l'évaluation de ces dernières qu'elle paraît appelée à rendre des services, et c'est de ce côté que sont dirigés en ce moment mes efforts.

Appareil destiné à mesurer les pouvoirs inducteurs spécifiques des corps solides ou des corps liquides;

Par M. H. Pellat.

Ayant besoin de connaître le pouvoir inducteur spécifique de substances solides ou liquides en vue d'un travail sur les diélectriques, j'ai pensé que l'appareil dont je vais donner la description permettrait d'effectuer cette mesure délicate avec facilité et précision. Cet appareil a répondu parfaitement à ce que j'en attendais.

Il est fondé sur l'augmentation qui se produit dans l'attraction des armatures d'un condensateur chargé quand l'air existant entre elles est totalement ou partiellement remplacé par un diélectrique.

Comme cette attraction dépend aussi de la valeur de la différence de potentiel des armatures, il faut, pour éviter les erreurs dues aux variations de la source électrique, que la force antagoniste

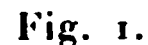


Fig. 1.

soit une autre attraction électrique produite par la même différence de potentiel, et que la mesure se fasse par une méthode de zéro.

Pour réaliser ces conditions, l'appareil consiste en un double électromètre de Lord Kelvin. Les deux plateaux mobiles en alu-

minium M et M′ (M seul est visible sur les figures; 4^{cm} de diamètre) sont placés l'un au-dessus de l'autre et liés entre eux par une tige qui les rend solidaires; ce système est fixé à l'une des extrémités d'un fléau d'une balance très sensible B, dont l'autre extrémité porte un plateau suspendu à la façon ordinaire. Les anneaux de garde G et G′ (8^{cm} de diamètre) sont reliés entre eux par un cylindre de laiton C à génératrices verticales, de façon que l'ensemble forme une boîte percée seulement de quelques ouvertures nécessaires. Toutes ces pièces sont reliées métalliquement au socle métallique de l'appareil.

Au-dessus du plateau mobile supérieur et au-dessous du plateau mobile inférieur se trouvent les deux plateaux attractifs A et A′, reliés métalliquement entre eux, mais formant un système isolé, pouvant être porté, par conséquent, à un autre potentiel que celui des plateaux mobiles et des anneaux de garde. Le plateau attractif inférieur A′ est fixe; le plateau attractif supérieur A est porté par une vis micrométrique V, identique à celle d'un sphéromètre dont le déplacement est donné, comme dans cet instrument, par un limbe gradué L en 500 parties; chaque division correspond à un micron : en tournant la vis on déplace le plateau attractif supérieur parallèlement à lui-même et au plan de l'anneau de garde et du plateau mobile supérieur. Des vis et contre-vis permettent de faire appliquer exactement ce plateau attractif contre le plan de l'anneau de garde et, par conséquent, de régler parfaitement le parallélisme.

La tige qui relie les deux plateaux mobiles porte, gravée sur verre, une croix de réticule à branches verticale et horizontale; cette croix est visée par un microscope pourvu d'un réticule oculaire à branche inclinée à 45° sur l'horizon. Ce réticule est réglé de façon que lorsque les points de croisement des réticules coïncident optiquement le plateau mobile supérieur M soit exactement dans le plan de son anneau de garde G. Le plateau mobile inférieur est alors un peu au-dessus ou un peu au-dessous de son anneau de garde, mais dans une position toujours la même, ce qui est le seul point essentiel.

Pour éviter les oscillations de la balance qui rendraient la mesure extrêmement longue, un amortisseur à air du système Curie K est disposé sous le plateau P de la balance.

C'est en plaçant des poids dans ce plateau qu'on fait, en gros, équilibre au poids des plateaux mobiles quand toutes les parties de l'appareil sont au même potentiel; on parfait cette tare par l'action d'un ressort R agissant sur le bras du fléau et qui peut être tendu plus ou moins en agissant sur une vis U. Ce ressort présente, en outre, l'avantage d'augmenter la valeur de la différence de potentiel à partir de laquelle l'équilibre cesse d'être stable.

Enfin, deux vis-butoirs D limitent dans un espace très étroit la course du fléau de façon que, non seulement la croisée du réticule reste toujours dans le champ du microscope, mais, en outre, s'écarte très peu de la position d'équilibre, condition indispensable quand l'équilibre est instable sous l'influence des actions électriques.

Un relevage pour le fléau, des écrans électriques convenablement placés, des vis calantes et un niveau à bulle d'air complètent l'appareil.

L'appareil a été construit par la maison Ducretet et Lejeune.

Mesure du pouvoir inducteur spécifique d'un corps solide. — Le corps étudié est pris sous forme d'une lame à faces planes et parallèles ayant $0^{cm},7$ à $0^{cm},9$ d'épaisseur; cette épaisseur c est mesurée exactement avec un sphéromètre. La lame est placée entre l'anneau de garde et le plateau attractif supérieur.

Elle repose sur l'anneau de garde par trois petites cales en verre de même épaisseur $0^{cm},1$ environ, ayant $0^{cm},1$ ou $0^{cm},2$ de côtés, de façon à ne pas gêner les mouvements du plateau mobile; la lame doit déborder de 2^{cm} environ ce plateau.

On fait la tare très exactement en agissant sur le ressort, toutes les pièces de l'appareil étant au même potentiel; puis, par le jeu d'un commutateur, on établit entre les plateaux mobiles et les anneaux de garde, d'une part, et les plateaux attractifs d'autre part, une différence de potentiel; l'attraction produite sur l'un des plateaux l'emporte, en général, sur celle produite sur l'autre et le fléau bascule.

On déplace alors dans le sens convenable, à l'aide de la vis micrométrique, le plateau attractif supérieur jusqu'à ce qu'en faisant

jouer le commutateur l'équilibre persiste, ce qui peut avoir lieu si la différence de potentiel est faible, parce qu'alors l'équilibre est stable; si la différence de potentiel dépasse une certaine valeur, l'équilibre devient instable; on cherche alors deux positions très voisines du plateau supérieur telles que le fléau bascule en sens contraire par le jeu du commutateur. Entre chaque essai, le commutateur maintient les plateaux au même potentiel, de façon que le champ électrique reste nul, à moins qu'on ne veuille étudier précisément l'effet d'un champ prolongé sur le diélectrique.

On enlève ensuite la lame diélectrique, et, pour que le jeu du commutateur ne trouble pas l'équilibre, on est obligé de rapprocher, au moyen de la vis micrométrique, le plateau supérieur. Je désignerai par a la quantité dont il a fallu abaisser ainsi ce plateau et qui est donnée immédiatement par la différence des lectures dans les deux opérations consécutives.

Le calcul du pouvoir inducteur spécifique K se fait très simplement. J'admettrai d'abord que la lame n'a aucune électrisation.

Supposons celle-ci introduite entre le plan de l'anneau de garde et du plateau mobile et le plan formé par le plateau attractif supérieur; en désignant par e la distance de ces deux plans, par c l'épaisseur de la lame, par V leur différence de potentiel, par φ et φ' l'intensité du champ électrique dans l'air et dans le diélectrique, enfin par μ la densité électrique superficielle et par τ la tension sur le plateau mobile, on a les relations bien connues

$$(1) \qquad \varphi = K\varphi',$$

$$(2) \qquad V = \varphi(e-c) + \varphi' c = \varphi\left(e - c + \frac{c}{K}\right),$$

$$(3) \qquad \varphi = 4\pi\mu,$$

$$(4) \qquad \tau = 2\pi\mu^2.$$

D'où, pour la force électrique f qui tend à soulever le plateau mobile supérieur de surface s,

$$(5) \qquad f = s\tau = 2\pi\mu^2 s = \frac{s\varphi^2}{8\pi} = \frac{sV^2}{8\pi\left(e - c + \frac{c}{K}\right)^2}.$$

D'ailleurs le plateau mobile inférieur est soumis à une force égale à mV^2, m étant une constante quand les points de croisement des réticules coïncident; si donc e a la valeur e_1 convenable

pour que l'équilibre existe, on a alors

$$(6) \qquad \frac{s}{8\pi\left(e_1 - c + \frac{c}{K}\right)^2} = m \qquad \text{ou} \qquad e_1 - c + \frac{c}{K} = \sqrt{\frac{s}{8\pi m}}.$$

En désignant par e_2 la valeur de e qui donne l'équilibre quand la lame est enlevée, on a de même

$$e_2 = \sqrt{\frac{s}{8\pi m}},$$

$$e_1 - c + \frac{c}{K} = e_2,$$

$$(9) \qquad K = \frac{c}{c - (e_1 - e_2)} = \frac{c}{c - a}.$$

La connaissance de l'épaisseur de la lame c et du déplacement a du plateau supérieur attractif suffit à déterminer K.

Mais on ne peut jamais répondre d'une absence complète de charge d'une lame diélectrique. Il convient donc d'examiner l'effet perturbateur apporté par une charge électrique de la lame pour l'éliminer.

Supposons donc que les deux plans conducteurs, entre lesquels on place la lame, étant d'abord au même potentiel, l'électrisation de celle-ci développe en un point du plateau mobile supérieur une densité superficielle ε, d'où une force électrique $\int 2\pi\varepsilon^2\, ds$ ayant un moment $\int 2\pi\varepsilon^2 l\, ds$ par rapport à l'axe de rotation du fléau, l'intégration étant étendue à toute la surface du plateau. Cette force se trouve compensée en faisant la tare au moyen du ressort; par conséquent, en appelant M la valeur du moment de la force antagoniste, on a

$$(10) \qquad 2\pi \int \varepsilon^2 l\, ds - M = 0.$$

Établissons une différence de potentiel V entre les deux plateaux métalliques et soit μ la densité électrique qui en résulterait pour chaque point du plateau mobile si la lame diélectrique n'était pas électrisée. En vertu de la superposition des états électriques,

chaque point du plateau prend une densité $\mu + \varepsilon$ (μ constant, ε variable avec le point considéré) et il en résulte une force dont le moment par rapport à l'axe de rotation est $\int 2\pi(\mu+\varepsilon)^2 l\,ds$.

Quant à la force mV^2 qui agit sur le plateau mobile inférieur, son mouvement est $-mV^2L$. Lorsqu'il y a équilibre on a donc

$$(11) \qquad \int 2\pi(\mu+\varepsilon)^2 l\,ds - mV^2L - M = 0.$$

Ce qui peut s'écrire

$$(12) \qquad 2\pi\mu^2\int l\,ds + 4\pi\mu\int \varepsilon l\,ds + 2\pi\int \varepsilon^2 l\,ds - mV^2L - M = 0.$$

En vertu de (10), cette relation devient

$$(13) \qquad 2\pi\mu^2\int l\,ds + 4\pi\mu\int \varepsilon l\,ds - mV^2L = 0.$$

Enfin, en vertu des relations (2) et (3), on en déduit

$$(14) \qquad \frac{V^2}{8\pi\left(e_1 - c + \frac{c}{K}\right)^2}\int l\,ds + \frac{V}{\left(e_1 - c + \frac{c}{K}\right)}\int \varepsilon l\,ds - mLV^2 = 0.$$

Après avoir enlevé la lame, la condition d'équilibre s'écrit

$$(15) \qquad \frac{V^2}{8\pi e_2^2}\int l\,ds - mLV^2 = 0,$$

d'où, en divisant par V^2 (14) et (15) et soustrayant

$$(16) \qquad \frac{1}{8\pi}\left[\frac{1}{\left(e_1 - c + \frac{c}{K}\right)^2} - \frac{1}{e_2^2}\right]\int l\,ds + \frac{1}{\left(e_1 - c + \frac{c}{K}\right)V}\int \varepsilon l\,ds = 0.$$

Pour éliminer l'action perturbatrice du second terme, on peut opérer de deux manières :

La première consiste à se servir de différences de potentiel fixes, données par une batterie par exemple. On répétera la même opération en renversant, par le jeu d'un commutateur, la différence de potentiel entre les plateaux mobiles et les plateaux attractifs, en lui conservant la même valeur absolue V; on aura alors, en désignant par e'_1 la nouvelle valeur trouvée pour e_1,

$$(17) \qquad \frac{1}{8\pi}\left[\frac{1}{\left(e'_1 - c + \frac{c}{K}\right)^2} - \frac{1}{e_2^2}\right]\int l\,ds - \frac{1}{\left(e'_1 - c + \frac{c}{K}\right)V}\int \varepsilon l\,ds = 0.$$

Ce qui donne, par élimination de $\frac{1}{V}\int \varepsilon\, l\, ds$,

$$(18)\qquad \frac{1}{e_1 - c + \frac{c}{K}} + \frac{1}{e'_1 - c + \frac{c}{K}} - \frac{e_1 - c + \frac{c}{K} + e'_1 - c + \frac{c}{K}}{e_2^2} = 0,$$

ou en posant, pour abréger,

$$(19)\qquad x = c - \frac{c}{K},$$

d'où

$$K = \frac{c}{c - x}$$

[illegible]ation du deuxième degré pour déterminer x

$$(e_1 - x)(e'_1 - x) - e_2^2 = 0,$$

dont la racine convenable est

$$(20)\qquad x = \frac{e_1 + e'_1}{2} - \sqrt{\left(\frac{e_1 - e'_1}{2}\right)^2 + e_2^2}.$$

En posant $a = e_1 - e_2$, $a' = e'_1 - e_2$ et négligeant la quatrième puissance de $\left(\frac{e_1 - e'_1}{e_2}\right)$, il vient

$$(21)\qquad x = \frac{a + a'}{2} - \frac{(a - a')^2}{8 e_2}.$$

La distance e_2 du plateau attractif supérieur à l'anneau de garde n'est nécessaire que pour le terme correctif ; elle s'obtient du reste avec une grande précision en appliquant le plateau attractif sur le plan de l'anneau de garde et faisant la lecture.

Cette méthode donne de bons résultats, comme j'ai pu m'en assurer ; mais pourtant elle suppose que ni la charge du diélectrique, ni la différence de potentiel de la source n'ont varié dans l'intervalle des deux opérations ; il faut donc opérer assez rapidement.

La seconde manière d'éliminer le terme perturbateur est beaucoup plus commode. Elle consiste à opérer avec des différences de potentiel V rapidement alternatives, comme celles qu'on obtient

aux deux pôles d'une bobine de Ruhmkorff sans trembleur, quand on lance dans le gros fil le courant d'un alternateur fournissant soit un courant sinusoïdal, soit tout au moins un courant symétrique dans les parties positives et négatives, comme c'est le cas habituel, de façon à avoir

$$(22) \qquad \int_0^T V\,dt = 0,$$

en désignant par T la durée d'une période.

Le premier membre de l'équation (14) représente, à chaque instant, la valeur du moment R des forces agissant sur le fléau. Pour que celui-ci reste en équilibre, il faut avoir $\int_0^T R\,dt = 0$, et comme $\int_0^T V^2\,dt$ n'est pas nul, tandis que $\int_0^T V\,dt$ est nul, on déduit de la relation (14), comme condition d'équilibre,

$$(23) \qquad \frac{1}{8\pi\left(e_1 - c + \frac{c}{K}\right)^2}\int l\,ds - mL = 0,$$

et, s'il n'y a pas de lame diélectrique,

$$(24) \qquad \frac{1}{8\pi e_2^2}\int l\,ds - mL = 0$$

d'où

$$(25) \qquad e_1 - c + \frac{c}{K} = e_2 \qquad \text{et} \qquad K = \frac{c}{c - (e_1 - e_2)} = \frac{c}{c - a}.$$

L'opération se fait, dans ce cas, avec la plus grande facilité ; on arrive à déterminer la position du plateau supérieur à 1 ou 2 microns près. En admettant un réglage parfait de parallélisme des plateaux, c'est principalement l'erreur avec laquelle on fait coïncider le croisement des deux réticules qui limite la précision ; il est donc avantageux d'employer un microscope un peu puissant et une vis U à pas très fin.

Cette méthode a été soumise à d'assez nombreuses vérifications. Ainsi, j'ai pu constater qu'il était largement suffisant de faire déborder la lame diélectrique, de 2^{cm} par rapport au plateau mobile. D'autre part, une même lame d'ébonite a été étudiée successivement avec deux épaisseurs différentes ($0^{cm},871$ et $0^{cm},597$); le pouvoir inducteur spécifique a été trouvé le même (3,128 et

3,154) aux erreurs près, dues à la mesure de l'épaisseur de la lame. C'est, en effet, le plus souvent le défaut de parallélisme et de planéité des faces de la lame et par conséquent l'erreur sur l'épaisseur qui limitent la précision de la méthode; l'erreur qui résultait de la mesure de l'épaisseur pour les lames d'ébonite employées était dix fois plus grande environ que celle qui provenait de la mesure fournie par l'appareil. La précision de celui-ci est telle que j'ai pu non seulement constater, mais même mesurer grossièrement le pouvoir inducteur spécifique du mica en employant deux lames superposées de cette substance qui n'avaient chacune que $0^{cm},013$ d'épaisseur.

Mesure du pouvoir inducteur spécifique des liquides. — On peut procéder pour les liquides comme pour les solides en enfermant le liquide dans un flacon plat formé par deux lames de verre travaillées optiquement et d'épaisseur connue. Cette méthode n'a pas encore été expérimentée; l'étude faite sur les corps solides montre qu'elle sera d'une application facile.

Mais on peut aussi opérer autrement en se fondant sur la propriété de la tension électrique d'être multipliée par le pouvoir inducteur spécifique K d'un liquide, quand celui-ci est substitué à l'air entre les deux armatures d'un condensateur, de façon à mouiller l'armature considérée.

Pour appliquer cette méthode, une large ouverture, pratiquée dans le socle de l'appareil sous l'ensemble des anneaux de garde (fermée quand on se sert de l'appareil pour les solides), permet d'introduire une cuve E, de façon que, en y versant un liquide diélectrique, celui-ci baigne les deux faces de l'anneau de garde inférieur, du plateau mobile inférieur et, bien entendu, du plateau attractif correspondant, la partie supérieure de l'appareil restant baignée par l'air.

Avant d'introduire le liquide dans la cuve, l'air existant partout entre les plateaux, on détermine la distance e_1 du plateau attractif supérieur au plan de l'anneau de garde correspondant qui donne l'équilibre quand on fait jouer le commutateur.

On verse ensuite le liquide, et comme, par suite de la poussée hydrostatique sur le plateau mobile inférieur, l'équilibre est rompu, on fait à nouveau la tare en ôtant des poids du plateau

de la balance et l'on parfait la tare par l'action du ressort, toutes les parties étant au même potentiel. On cherche ensuite la distance e_2 du plateau supérieur à l'anneau de garde qui maintient l'équilibre quand on fait jouer le commutateur.

Dans le premier cas, on a, avec les mêmes notations que ci-dessus,

$$\frac{sV^2}{8\pi e_1^2} = mV^2 \tag{26}$$

ou

$$\frac{s}{8\pi e_1^2} = m;$$

dans le second cas,

$$\frac{sV'^2}{8\pi e_2^2} = KmV'^2 \tag{27}$$

ou

$$\frac{s}{8\pi e_2^2} = mK,$$

d'où

$$K = \left(\frac{e_1}{e_2}\right)^2. \tag{28}$$

Les ménisques capillaires qui agissent sur le plateau mobile inférieur ou sur la tige qui réunit les deux plateaux font l'effet d'un ressort additionnel agissant sur le fléau. Il donne un équilibre stable malgré de grandes différences de potentiel et limite considérablement le déplacement du plateau quand les forces électriques ne se compensent pas. Malgré cela, dans ce cas, au moment où l'on établit la différence de potentiel, on a toujours un premier petit mouvement brusque et très net, ce qui fait que la mesure se fait avec une précision du même ordre que pour les solides.

Cette méthode a été expérimentée avec l'huile de pétrole et donne de bons résultats.

Je ferai remarquer qu'en opérant avec des différences de potentiel alternées très rapidement comme celles que donnent les décharges des condensateurs (un million par seconde par exemple) ou celles que donne le dispositif de Hertz (cent millions ou plus par seconde), il est probable qu'on pourra mesurer directement le pouvoir inducteur spécifique de corps ayant une certaine conductibilité, l'eau pure par exemple.

SÉANCE DU 7 JUIN 1895.

PRÉSIDENCE DE M. CAILLETET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le Procès-Verbal de la séance du 17 mai est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. BERTIN, Directeur de l'École d'application du Génie maritime, à Paris.
LUMIÈRE (Auguste), Ingénieur chimiste à Montplaisir (Lyon).
LUMIÈRE (Louis), Ingénieur chimiste, à Montplaisir (Lyon).
SIÉGLER, Ingénieur en Chef de la voie, à la Cie des Chemins de fer de l'Est, à Paris.
TROOST, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences.
VIGNON, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Lyon.

M. le PRÉSIDENT annonce que le Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts vient d'accorder à la Société une subvention de 1000fr pour ses publications.

M. MOËSSARD présente un appareil, dit la *stéréo-jumelle,* qui permet, de tous les points d'une salle, de voir avec leur relief apparent des *projections stéréoscopiques,* sans leur rien enlever de leur éclat.

La stéréo-jumelle se compose de deux prismes plans, qui peuvent tourner en même temps en sens inverse, de façon à accommoder leur déviation à la distance de l'observateur à l'écran.

Les épreuves de projection sont placées l'une au-dessus de l'autre, celle correspondant à l'œil gauche en haut.

Les prismes sont disposés de façon à faire descendre l'image vue de l'œil gauche et à faire monter celle vue de l'œil droit. Des diaphragmes appropriés masquent les images parasites.

Quelques épreuves sont ensuite projetées et examinées par les assistants munis de stéréo-jumelles.

M. R. ARNOUX présente à la Société les nouveaux voltmètres et ampèremètres apériodiques qu'il a étudiés en collaboration avec M. R. Chauvin pour la mesure des courants continus. Ces appareils, destinés aux laboratoires industriels, ont comme organe fondamental un cadre galvanométrique mobile dans un champ magnétique produit par un aimant permanent; avec ce dispositif on obtient un étalonnage qui demeure indéfiniment exact, et les mesures très faciles que l'on peut effectuer avec un même appareil s'appliquent à des différences de potentiel ou des intensités variables dans le rapport de 1 à 3000.

Le cadre mobile est constitué par une petite couronne de fil de cuivre isolé à la soie sertie entre deux bagues concentriques de cuivre pur découpées dans un tube fabrïqué par le procédé électrolytique Elmore; ces deux bagues donnent au cadre galvanométrique une grande rigidité et constituent en même temps un amortisseur électromagnétique très efficace. Le cadre ainsi constitué a les dimensions d'une alliance ordinaire; il est muni suivant un de ses diamètres de deux petits pivots en acier pénétrant dans une crapaudine en pierre fine; deux ressorts spiraux en métal non magnétique amènent le courant au cadre mobile et servent en même temps à développer le couple antagoniste qui fera équilibre au couple électromagnétique; les deux ressorts sont bandés l'un contre l'autre afin d'assurer au repos la fixité de l'aiguille qui est en aluminium. Tout l'équipage est équilibré de façon à permettre les lectures dans toutes les positions; il est renfermé dans un tube à embase dans lequel est fixé et centré, par rapport au cadre mobile, une petite sphère en acier destinée à fermer le circuit magnétique d'un aimant dont le flux de force utilisable est ainsi porté au maximum; l'aimant, formé par une seule pièce d'acier en forme de tore et sans pièces polaires rapportées, fournit un champ très permanent et intense.

Voltmètres. — Le cadre a une résistance de 75 ohms en moyenne; une intensité moyenne de 0,005 ampère suffit pour donner à l'aiguille son plus grand déplacement possible, et une résistance convenable, proportionnelle à la différence de potentiel maxima à mesurer, est placée en série avec le cadre mobile; cette résistance est constituée par un fil à très faible coefficient de variation avec la température. Les diverses résistances correspondant aux diverses sensibilités tiennent facilement dans le boîtier même du voltmètre. L'appareil est en outre muni d'une clef d'inversion qui permet de déterminer les pôles d'une canalisation ou d'un générateur.

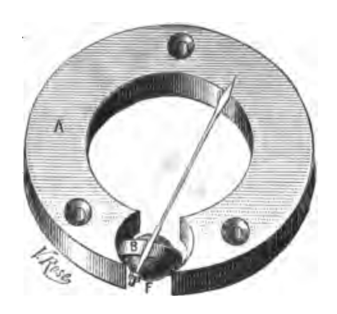
Ampèremètres. — Le cadre a une résistance 100 fois moins forte que dans les voltmètres; la mesure des courants supérieurs à 0,05 ampère s'obtient à l'aide de *shunts* qui peuvent rapidement être reliés à l'ampèremètre à l'aide de deux petits cordons souples terminés par des fiches coniques. Tous les shunts portent une plaque sur laquelle est poinçonné le courant maximum, exprimé en ampères, pour lequel ils sont construits et leur résistance spécifique exprimée en microhms. L'étalonnage est effectué à l'aide d'un pont double de Thomson que M. Arnoux présente également à la Société; le procédé employé permet d'effectuer des mesures exactes à l'aide d'un shunt quelconque relié à un ampèremètre quelconque.

Nouveaux voltmètres et ampèremètres apériodiques;

PAR M. R. ARNOUX.

Les voltmètres et ampèremètres apériodiques que j'ai l'honneur de présenter à la Société ont été étudiés en collaboration avec M. R. Chauvin. Ces appareils, destinés à la mesure des courants continus, sont basés sur le principe d'un cadre galvanométrique B mobile dans un champ magnétique produit par un aimant permanent A (*fig.* 1). Ce principe, qu'il ne faut pas confondre avec

Fig. 1.



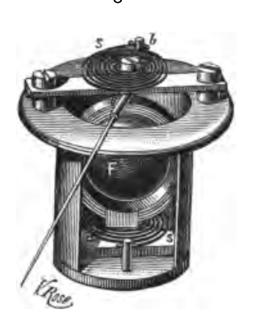
celui d'une palette de fer doux mobile entre les mâchoires d'un aimant, permet non seulement de réaliser des galvanomètres dont la permanence de l'étalonnage peut être considérée comme pratiquement absolue, mais dont la sensibilité est telle qu'on peut effectuer avec précision et rapidité, grâce à l'emploi d'un amortisseur électromagnétique, des mesures de différences de potentiel et d'intensités de courant pouvant facilement varier *dans le rapport de* 1 *à* 3000 *avec un seul appareil*, ce qui réduit le bagage de l'expérimentateur au strict minimum.

Ce qui caractérise ces nouveaux galvanomètres c'est la simplicité des moyens employés pour les réaliser. Le cadre mobile est constitué par une petite couronne de fil de cuivre isolé à la soie, sertie entre deux bagues concentriques de cuivre pur découpées dans du tube fabriqué par le procédé électrolytique Elmore. Ces deux bagues, en même temps qu'elles donnent au cadre galvano-

métrique une rigidité qu'il ne pourrait posséder sans cela, constituent un amortisseur électromagnétique très efficace par suite des courants d'induction qui prennent naissance par les mouvements du cadre dans le champ magnétique et s'annulent avec eux en obligeant l'aiguille à atteindre sans oscillation et avec exactitude sa position d'équilibre pour chaque mesure.

Ainsi constitué le cadre mobile à l'aspect d'une alliance ordinaire. Il est muni suivant un de ses diamètres de deux petits pivots en acier pénétrant dans deux crapaudines en pierre fine. Deux ressorts spiraux, *en métal non magnétique* S et S′ (*fig.* 2), amè-

Fig. 2.



nent le courant au cadre mobile et servent en même temps à développer le couple antagoniste qui doit faire équilibre au couple électromagnétique développé par l'aimant sur ce cadre, quand il est parcouru par un courant électrique. Ces deux ressorts spiraux sont bandés l'un contre l'autre afin d'assurer au repos la fixité de l'aiguille par rapport au zéro de l'échelle. L'aiguille est en *aluminium*, afin de réduire autant qu'il est possible le moment d'inertie de la partie mobile.

Tout cet équipage (*fig.* 2), équilibré de façon à permettre les lectures dans toutes les positions, est renfermé dans un tube à embase, dans lequel est fixé et centré par rapport au cadre mobile une de ces sphères d'acier F que l'industrie fabrique couramment aujourd'hui avec tant de précision pour les coussinets à billes. Cette sphère d'acier F est destinée à fermer le circuit magnétique d'un aimant dont le flux de force utilisable est ainsi porté au maximum possible. L'aimant permanent est constitué par *une*

pièce d'acier en forme de tore et sans pièces polaires rapportées, l'évidement cylindrique destiné à recevoir l'équipage mobile étant ménagé dans sa masse même. Ces conditions, qui sont d'ailleurs compatibles avec une construction économique, sont nécessaires pour permettre de réaliser avec un acier donné un champ magnétique *bien permanent et intense.*

Voltmètres. — Le cadre des voltmètres a une résistance qui est en moyenne de 75 ohms, et une intensité moyenne de 0, 005 ampère suffit pour donner à l'aiguille une déviation égale à la totalité de l'échelle, de sorte que, pour réaliser un voltmètre gradué en 150 divisions par exemple et permettant de mesurer une différence de potentiel maxima de 150 volts, il faut ajouter en série avec le cadre mobile une résistance de

$$(150 : 0,005) - 75 = 29925 \text{ ohms}$$

qu'on détermine avec toute l'exactitude nécessaire au pont de Wheatstone et qui est, bien entendu, constituée par du fil à très faible coefficient de température, comme celui employé dans les caisses de résistances, ce qui rend les indications de l'appareil pratiquement indépendantes de la température. D'une façon générale la valeur maxima correspondant à chaque sensibilité du voltmètre est proportionnelle à la valeur maxima de la différence de potentiel que l'échelle permet de lire avec cette sensibilité. Le très faible courant exigé par le cadre mobile permet de loger facilement, dans le boîtier même du voltmètre, les différentes résistances correspondant aux différentes sensibilités. Avec un galvanomètre ayant un boîtier de 15^{cm} de diamètre et 5^{cm} d'épaisseur, on peut effectuer toutes les mesures comprises entre 3 et 600 volts avec 5 sensibilités différentes, correspondant à six bornes convenablement disposées sur la partie cylindrique de ce boîtier (*fig.* 4).

L'appareil est en outre muni d'une clé d'inversion formant interrupteur qui permet de déterminer, par le sens même de sa manœuvre, les pôles d'un générateur ou d'une canalisation électrique.

Ampèremètres. — Les ressorts spiraux employés dans les

ampèremètres ne permettant pas de faire passer des courants supérieurs à 0,05 ampère à travers le cadre mobile, la mesure de courants supérieurs à cette valeur est très simplement obtenue à l'aide de *shunts* ou *réducteurs* traversés par le courant à mesurer et qui peuvent être rapidement reliés à l'ampèremètre à l'aide de deux petits cordons souples terminés par des fiches coniques analogues à celles employées dans les caisses de résistances (*fig.* 3).

Fig. 3.



On a reconnu par expérience que les contacts obtenus à l'aide de ces fiches ne varient pas de plus de $\frac{1}{100}$ de leur valeur propre, c'est-à-dire de plus de $\frac{1}{10000}$ de la résistance totale du circuit de l'appareil dans les conditions les plus défavorables.

Le cadre mobile des ampèremètres ne diffère de celui des voltmètres que par sa résistance qui, étant rendue 100 fois plus faible, nécessite par conséquent une différence de potentiel 10 fois plus petite pour obtenir la même déviation, ce qui permet, en réduisant dans la même proportion le *wattage* exigé par chaque me-

sure, de réaliser des *shunts* très courts et très portatifs. La *fig.* 3 représente un ampèremètre de 10^{cm} de diamètre relié à un shunt de 1000 ampères. Les feuilles d'argentan des shunts établis dans ces conditions ont une longueur constante de 10^{cm} avec une largeur proportionnelle au courant maximum à mesurer. Tous les


Fig. 4.

shunts portent une plaque sur laquelle sont poinçonnés le courant maximum exprimé en *ampères* pour lequel ils sont construits et leur résistance propre exprimée en *microhms*. L'étalonnage en

microhms des shunts, effectué à l'aide d'un pont double de Thomson permet de les rendre *interchangeables*, c'est-à-dire permet d'effectuer des mesures exactes simplement en reliant un shunt quelconque à un ampèremètre quelconque.

Voici comment ce résultat est obtenu. On règle, à l'aide du pont double de Thomson, la résistance de chaque shunt de façon qu'elle soit égale au quotient de 0,04 *volt* par le courant *maximum* pour lequel le shunt est construit et, à l'aide d'un potentiomètre, la résistance qu'il faut donner au circuit de chaque ampèremètre de façon que, lorsque la même différence de potentiel de 0,04 *volt*, adoptée pour tous les appareils, existe aux extrémités de ce circuit, l'aiguille du galvanomètre est au *maximum* de déviation sur son échelle. Bien que ce mode d'étalonnage permette d'effectuer des mesures exactes à l'aide d'un shunt quelconque relié à un ampèremètre quelconque, il est clair qu'il est préférable, afin d'éviter tout calcul nécessitant l'emploi de la plume ou du crayon, d'employer des shunts dont la *capacité maxima* poinçonnée sur la plaque soit un multiple ou un sous-multiple simple du chiffre maximum de la graduation de l'ampère-mètre. Cet emploi de shunt constituant des résistances étalonnées en microhms permet, comme dans le cas des voltmètres, de mesurer avec la même précision et *un seul galvanomètre* des intensités de courant comprises entre 1 et 3000 ampères.

Ce mode d'étalonnage des galvanomètres et des shunts a permis de réaliser une *caisse portative de contrôle* (*fig.* 4), composée de deux galvanomètres apériodiques et d'une série de 7 shunts, avec laquelle on peut effectuer des mesures portant sur un nombre de watts pouvant varier de 1 à 600000 watts, 1000 ampères sous 600 volts, avec 5 sensibilités intermédiaires pour le voltmètre et 7 pour l'ampèremètre.

SÉANCE DU 21 JUIN 1895.

PRÉSIDENCE DE MM. BOUTY ET CORNU.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le Procès-Verbal de la séance du 7 juin est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Socitté :

MM. BEL (Edgar), Professeur au Lycée d'Oran (Algérie).
DIOT, Professeur au Lycée Condorcet, à Paris.
FIGUIER (Albin), Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacic de Bordeaux.
HARTL (Colonel), attaché à l'Institut géographique militaire à Vienne (Autriche).
LEUILLIEUX, Dr Médecin de la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest, à Conlie.

M. le PRÉSIDENT annonce que l'*Association française pour l'avancement des Sciences* tiendra cette année, à Bordeaux, sa 24e session, du 4 au 9 août.

La session comportera des séances de Section où peuvent être présentés des travaux relatifs à toutes les Sciences, des séances générales où l'on discutera spécialement la possibilité d'une entente à établir au point de vue de la bibliographie scientifique, des visites industrielles et des excursions qui conduiront les congressistes à la pointe de Grave, dans les vignobles du Médoc, à Pauillac, à Arcachon, à Dax, à Bayonne, à Biarritz, à Saint-Sébastien et à Bilbao.

L'Exposition organisée par la Société philomathique ajoute un nouvel attrait à ce programme.

Pour renseignements et inscriptions, s'adresser au Secrétariat de l'Association, 28, rue Serpente, à Paris.

M. A. COTTON a trouvé des corps actifs *absorbant inégalement un rayon circulaire droit et un rayon circulaire gauche,* analogues par conséquent aux cristaux dichroïques qui absorbent inégalement le rayon ordinaire et le rayon extraordinaire. Il montre cette propriété sur un liquide (solution d'un tartrate double de chrome et de potassium). En regardant au travers de ce liquide deux plages lumineuses identiques et contiguës donnant l'une de la lumière droite, l'autre de la lumière gauche, on voit les deux plages apparaître avec des intensités différentes si l'on emploie la lumière jaune de la soude; avec des colorations différentes si l'on emploie la lumière blanche d'un bec de gaz ordinaire. Les aspects des deux plages s'intervertissent lorsqu'on change le sens des vibrations

fournies par le double polariseur circulaire (par exemple en interposant une lame demi-onde).

Si l'on retourne tout l'appareil de façon que la lumière traverse d'abord le liquide, puis le double polariseur circulaire qui fonctionne alors comme analyseur, on voit encore la même différence entre les deux plages. Un tel liquide modifie donc la lumière naturelle en donnant plus de lumière droite, par exemple, que de lumière gauche. On peut espérer en trouver qui pourraient servir de polariseurs circulaires ne laissant passer que l'une des deux sortes de vibrations.

Lorsqu'une vibration rectiligne se propage dans un de ces liquides, ses deux composantes circulaires sont inégalement affaiblies et donnent à la sortie une vibration elliptique. C'est ainsi que l'inégalité d'absorption a été trouvée tout d'abord, grâce à un *procédé très sensible pour mettre en évidence des ellipses très aplaties.* Ce procédé consiste à observer au spectroscope les franges de Fizeau et Foucault données par des lames de quartz parallèles à l'axe, formées de deux parties juxtaposées dont les axes sont à angle droit. Ces franges se coupent en deux lorsque la lumière devient elliptique. On peut, en se dispensant ainsi de tout pointé de franges, employer des lames très minces donnant un petit nombre de franges dans le spectre visible (une seule, par exemple, avec la lame à teinte sensible de Bravais). Ces franges se déplacent beaucoup pour une lumière elliptique donnée, de sorte que l'on peut mettre en évidence des ellipses très aplaties, comme celles que l'on obtient en introduisant, entre deux vibrations rectangulaires, un retard du millième de la longueur d'onde.

Des photographies représentant ces franges sont projetées devant la Société.

M. Cotton indique comment l'adjonction d'un quart d'onde à l'appareil précédent permet de mesurer, par deux opérations tout à fait pareilles, la différence des absorptions et le pouvoir rotatoire. Il signale en terminant un autre fait qui lui paraît beaucoup plus général, que montrent les mesures des rotations : la *dispersion rotatoire anomale des corps absorbants.*

M. Cornu signale le grand intérêt des expériences que vient de relater M. Cotton; elles fournissent une preuve expérimentale de ce fait, découvert par le génie de Fresnel, qu'il existe deux vibrations circulaires se propageant avec des vitesses différentes; et, comme M. Cornu l'a montré il y a quelques années, il n'y a point là une simple fiction mathématique pour rendre compte d'un phénomène, mais une réalité objective; le beau travail de M. Cotton apporte un argument direct et décisif dans le même sens.

M. Bernard Brunhes présente à la Société le prisme à liquide dont il s'est déjà servi dans son étude expérimentale sur la réflexion cristalline interne. Il y a fait introduire une modification importante.

Une vis permet de faire tourner dans son plan, d'un petit angle, la lame cristalline de forme circulaire, à l'intérieur de laquelle se produit la réflexion.

En prenant une lame de quartz taillée à 45° de l'axe optique et formant la face hypoténuse du prisme rectangle isoscèle, on devra régler l'orientation de la lame de telle sorte que la section principale coïncide avec le plan d'incidence (plan perpendiculaire à l'une des faces latérales du prisme), et l'on pourra dès lors étudier la réflexion d'un rayon lumineux entré suivant l'axe optique et réfléchi sur une surface qui fait avec cet axe un angle de 45°. Il faudra recourir à un liquide de réfringence voisine de celle du quartz, et l'on remplira effectivement le prisme d'un mélange convenable de benzine et de sulfure de carbone.

Les résultats obtenus sont les suivants :

Un rayon polarisé circulaire droit, se propageant suivant l'axe, donne par réflexion deux rayons perpendiculaires à l'axe, l'un ordinaire, l'autre extraordinaire. De même un rayon circulaire gauche.

On compare la réflexion sur l'alcool et la réflexion totale sur l'air.

M. Brunhes généralise un résultat démontré dans un précédent travail pour le cas où la biréfringence ne se compliquait pas du pouvoir rotatoire.

Deux rayons, un rayon ordinaire et un rayon extraordinaire, par exemple, seront *conjugués* par rapport à un plan si par réfraction extérieure ils donnent la même direction de rayon émergent et par suite, par réflexion intérieure, les deux mêmes directions de rayons réfléchis. Quand on passe d'un incident à l'incident conjugué, les deux rayons réfléchis obtenus par réflexion totale gardent entre eux, du fait de cette réflexion, la même différence de phase.

Dans le cas d'un milieu à la fois biréfringent et actif les deux conjugués ne seront plus deux rayons rectilignes polarisés sensiblement à angle droit : ce seront en général deux elliptiques privilégiés transmettant des vibrations conjuguées. Dans le cas des rayons propagés suivant l'axe du quartz, ce seront deux circulaires, l'un droit, l'autre gauche.

La proposition reste vraie quand il y a réflexion totale sur un milieu nullement absorbant; par conséquent, la différence de phase des deux vibrations réfléchies ne varie pas (ou varie de 180°) quand on passe d'un incident à l'incident conjugué.

On l'a vérifié en particulier sur le quartz. En étudiant au spectroscope le faisceau provenant de la réflexion d'un faisceau incident dirigé suivant l'axe, et analysant, on a un spectre cannelé. Ici ce sont les rayons incidents polarisés circulairement qui donnent lieu aux phénomènes précédemment obtenus dans le cas de polarisation uniradiale.

On a par un azimut convenable de l'analyseur des bandes au spectre cannelé. *Elles ne se déplacent pas dans le spectre quand on passe du circulaire droit au circulaire gauche.*

Les bandes obtenues par réflexion (partielle) sur l'alcool et par réflexion totale sur l'air présentent le même déplacement relatif quand on passe du droit au gauche.

Inversement, on peut opérer par analyse uniradiale, maintenir l'analyseur fixe, et tel qu'il ne laisse passer qu'un des rayons réfléchis intérieurs,

l'ordinaire ou l'extraordinaire. On peut prendre un analyseur biréfringent qui séparera les phénomènes produits par les deux. L'interférence étudiés est alors produite entre les deux circulaires droit et gauche auxquels donne lieu chacun de ces rayons rectilignes, ordinaire et extraordinaire, par réflexion intérieure.

La lame, qui avait environ $0^{cm},2$ d'épaisseur, était une lame épaisse pour les phénomènes de polarisation chromatique auxquels donnait lieu sa traversée par le faisceau perpendiculaire à l'axe. Par le faisceau dirigé suivant l'axe, elle donne au contraire des phénomènes de polarisation rotatoire pour lesquels elle est une lame mince. On obtiendra donc, par analyse uniradiale, des colorations; et, quand on ne veut pas faire de mesure, on peut se dispenser d'avoir recours au spectroscope.

On observe qu'en polarisant rectilignement (et non plus circulairement) le faisceau incident, on obtient à l'analyseur biréfringent deux plages colorées. Sans toucher à l'analyseur, réglé une fois pour toutes, on peut tourner le polariseur : les colorations varient; par un azimut de polarisation, l'une des deux images présente une teinte sensible.

L'expérience montre que, par réflexion sur l'alcool et sur l'air, on a constamment les mêmes colorations; on ramène au même éclat par l'interposition d'une lame de verre légèrement dépolie, et l'on arrive à constater qu'il n'y a pas la plus légère différence de teinte. On en peut conclure qu'il n'y a pas de variation dans la différence physique des chemins traversés quand on passe du cas de la réflexion partielle à la réflexion totale. Le rayon ordinaire perpendiculaire à l'axe donne deux circulaires : la différence introduite entre ces deux circulaires est nulle dans la réflexion partielle; elle est la même, c'est-à-dire nulle encore dans la réflexion totale. Il en est de même quand on passe au rayon extraordinaire. Dans ce cas la différence de phase introduite a la valeur particulière zéro pour les deux incidents conjugués, et la proposition se trouve encore vérifiée.

M. Bouty répète devant la Société quelques expériences sur les flammes sensibles décrites par Weinhold et nommées par Tyndall *flamme des voyelles*.

Ces flammes, de 40^{cm} à 60^{cm} de haut, silencieuses et tranquilles, prennent une forme en panache au-dessus d'un pédoncule tranquille et ronflent sous l'influence d'un bruit aigu quelconque, sifflement, bruit de clefs, etc., même très peu intense. M. Bouty montre qu'on peut provoquer la formation du panache par d'autres procédés que l'excitation sonore, notamment par l'injection d'air dans l'axe de la flamme, et, réciproquement, que la flamme sensible, excitée par un son, jouit des propriétés d'une lampe d'émailleur.

Par la comparaison des propriétés de ces flammes sensibles avec celles de flammes alimentées à travers un tuyau à anche ou de flammes qui rendent par elles-même un son musical, M. Bouty montre qu'on ne peut assimiler les flammes sensibles qu'il étudie à des résonateurs déterminés. La forme et les dimensions du tube abducteur sont indifférentes; on peut

supprimer à l'aide d'une toile métallique toute la région supérieure de la flamme, et la flamme excitée ne rend pas un son musical, mais bien un sifflement qu'on peut renforcer en plongeant un corps quelconque dans la flamme, un peu au-dessous du panache.

C'est en effet dans cette région que s'opère, d'après M. Bouty, le mélange irrégulier de gaz et d'air d'où dérivent tous les phénomènes observés. On explique toutes les circonstances du phénomène en admettant :

1° Que dans une flamme prête à ronfler des portions très petites de mélange inflammable peuvent échapper à la combustion immédiate;

2° Que la production d'un son facilite l'explosion d'un mélange inflammable si la période du son est suffisamment voisine de celle du bruit explosif.

M. Violle a entrepris sur l'acétylène des recherches qui l'ont conduit à la fabrication d'une lampe étalon, remplissant les conditions requises par les mesures photométriques usuelles. En brûlant le gaz sous une pression un peu forte dans un bec où il s'aère convenablement et qui l'étale en une large lame mince, il obtient une flamme parfaitement fixe, très éclairante, d'une blancheur remarquable et d'un éclat uniforme sur une assez grande surface. Il place devant cette flamme un écran percé d'une ouverture déterminée, variable suivant les besoins; et il obtient une source dont la fixité, l'éclat et la blancheur, comparables à celles de l'étalon absolu, font un étalon pratique, sûr et commode.

Sur des flammes sensibles;

Par M. E. Bouty.

1. Les flammes que je vais étudier ne sont pas nouvelles. Elles ont été décrites par Tyndall (¹), sous le nom de *flamme aux voyelles*. Weinhold (²) a observé qu'elles sont particulièrement sensibles aux sons *s*, *ch* et aux voyelles aiguës, et il a indiqué les meilleures conditions pour les obtenir; enfin, toutes les personnes qui se sont occupées des flammes ont dû les rencontrer, au moins accidentellement.

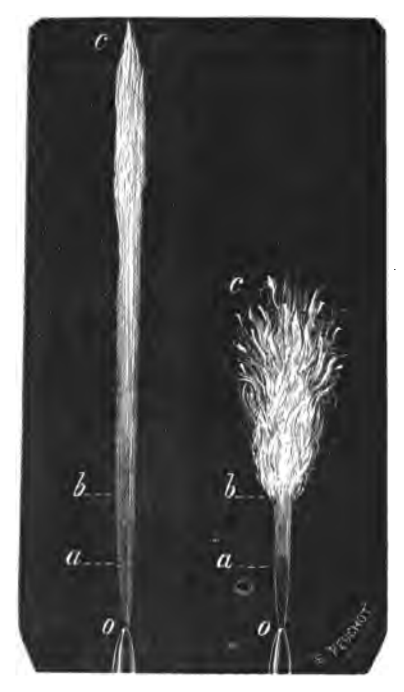
Par un orifice circulaire de 1^{mm} à 2^{mm} de diamètre, percé ou

(¹) Tyndall, *Le son*, p. 258 et suiv., de la traduction française.

(²) Weinhold, *Pogg. Ann.*, t. CXXXVI, p. 333; *Ann. de Chim. et de Phys.*, 4ᵉ série, t. XVII, p. 515.

non en mince paroi (¹), on laisse échapper le gaz sous une pression de 6^{cm} à 8^{cm} d'eau ; la flamme doit avoir de 40^{cm} à 60^{cm} de haut ; elle est silencieuse et tranquille (*fig.* 1). Mais si la pression croît au delà d'une certaine limite variable avec les dimensions de l'ouverture et la disposition du tube qui amène le jet, la flamme se met à *ronfler ;* elle se raccourcit et s'épaissit à sa partie supérieure en un panache très brillant et irrégulièrement dentelé au-dessus d'une sorte de pédoncule dont la base *oa* conserve l'apparence et les propriétés de la base *oa* de la flamme 1 (*fig.* 2).


Fig. 2. Fig. 2.



Observé dans un miroir tournant, le panache de la flamme 2 se résout en bandes irrégulières et plus ou moins tordues, alter-

(¹) Pour avoir un orifice à mince paroi, j'emploie comme bec une petite éprouvette à dessécher les gaz, mastiquée à sa partie supérieure dans une garniture métallique où s'enchâsse une mince plaque de cuivre. Celle-ci est percée en son centre d'un orifice circulaire par où s'échappe le jet gazeux.

nativement sombres et brillantes, inclinées dans le sens du mouvement de l'image. Les bandes brillantes se terminent à leur partie inférieure par des filaments grêles et très irréguliers. Le panache est donc constitué par des langues de flamme blanche, formées d'un ou plusieurs filets élémentaires, qui se déplacent autour de l'axe du pédoncule suivant les hasards de la combustion, et dont l'œil ne perçoit que l'enveloppe.

Quand la flamme est prête à ronfler, l'effet d'un son aigu, sifflement, bruit de clefs, etc., même très peu intense, suffit à faire passer la flamme de la forme 1 à la forme 2; elle revient à la forme 1 aussitôt que le bruit cesse. Pour une pression telle que le panache commence à se former de lui-même au sommet de la flamme, l'excitation sonore abaisse et épaissit le panache existant déjà, comme le ferait un accroissement de pression. L'excitation produite par un sifflement peut encore être constatée à plus de 50 mètres de distance.

A l'aide d'une sirène, on constate que la flamme, tout à fait insensible aux sons graves, commence à être impressionnée à partir d'un son d'autant moins aigu que l'orifice est plus large; mais qu'il n'y a pas de limite supérieure à l'acuité des sons susceptibles de l'exciter (1).

2. Quelle est la théorie de ces flammes sensibles? On sait qu'une veine liquide, qu'un jet froid de fumée sont sensibles à certains sons. La flamme n'agit-elle, comme la fumée, qu'en rendant visible la modification de l'équilibre gazeux par des actions proprement mécaniques; ou bien les circonstances *efficaces* pour modifier l'équilibre de nos flammes sont-elles le fait de la combustion? Quel est le résonateur? Est-ce le récipient du gaz muni de l'orifice, est-ce la flamme ou une région déterminée de la flamme? Y a-t-il, à proprement parler, un résonateur? Telles sont les questions à propos desquelles j'ai réalisé les expériences suivantes.

---

(1) On peut envelopper complètement la flamme d'un tube de 3^{cm} à 4^{cm} de diamètre et de 60^{cm} de long. L'excitation sonore persiste avec les mêmes caractères.

3. J'ai constaté d'abord que la flamme, excitée par un son, ne diffère *en rien* de la flamme amenée à la forme 2 par d'autres moyens. Les principaux procédés que j'ai mis en œuvre sont :

1° L'accroissement de pression.

2° L'emploi d'ajutages cylindriques d'une quinzaine de millimètres de diamètre, que l'on pose au-dessus de l'orifice à mince paroi. Le pédoncule de la flamme, élargi à l'intérieur de l'ajutage, se rétrécit brusquement un peu plus haut, et le panache prend naissance à quelques centimètres au-dessus de l'étranglement.

3° L'insufflation d'une petite quantité d'air par un orifice capillaire situé à l'intérieur de l'orifice principal *o*. Les propriétés de la flamme excitée par un son sont d'ailleurs si analogues à celles de la flamme injectée d'air, qu'on peut utiliser une flamme sensible comme une sorte de lampe à émailleur, et y fondre le verre en sifflant.

Ces trois procédés ne sont assurément pas les seuls qu'on puisse employer. Plus généralement, toute disposition qui tend à faire tourbillonner la flamme, favorise la formation de la flamme 2.

4. Au sein d'une flamme sensible (*fig.* 1), nous distinguerons trois régions : la base *oa*, obscure au centre, franchement bleue à la périphérie et parfaitement tranquille; sa hauteur est de 5^{cm} à 8^{cm}; la région troublée *ab*, où naissent les premiers filaments blancs; la partie supérieure éclairante *bc*.

La région *oa* se comporte comme un simple prolongement de l'orifice; l'excitation sonore ne paraît pas l'atteindre; elle ne modifie en rien ses propriétés.

1° Le débit de l'orifice ne paraît nullement modifié par l'excitation sonore ([1]).

2° Si, dans l'axe de la flamme, on soutient l'extrémité *p*

([1]) On peut alimenter la flamme par une prise de gaz principale et régler une seconde prise de manière qu'elle donne à travers un flacon laveur un petit nombre de bulles que l'on puisse compter. Dans ces conditions, on constate aisément la modification du débit produite, par exemple, par l'inflammation du jet gazeux. Mais l'excitation de la flamme est de nul effet sur le nombre des bulles.

tournée vers le bas d'un petit tube de cuivre capillaire *pq* recourbé en sens contraire à ses deux bouts, on puise ainsi du gaz qui alimente en *q* une petite flamme. Celle-ci se maintient parfaitement tranquille tant que l'orifice *p* est dans la région *oa*. Cet effet ne peut être dû entièrement à l'amortissement produit par les parois du tube *pq*. Si l'on produit artificiellement des pulsations à l'orifice ([1]), la flamme *q* suit le rythme de ces pulsations.

3° Si l'on écrase une petite flamme, alimentée d'une manière indépendante, sur la base de la flamme sensible, on rend la région *oa* visible dans un miroir tournant; on n'y aperçoit aucune trace de stries. Au contraire, si l'on alimente une flamme à travers l'embouchure d'un tuyau à anche ([2]), la zone bleue de la flamme, qui paraît tranquille à l'œil, montre dans le miroir tournant et jusqu'au niveau de l'orifice des franges régulières, aussitôt qu'on la rend visible par le contact d'une petite flamme. Cette double expérience est d'une extrême netteté.

4° Si l'on promène une toile métallique ou un corps solide quelconque dans la base *oa* de la flamme, excitée ou non, il ne se produit en général aucun son. Au contraire, quand un brûleur est alimenté à travers un tuyau à anche, quelles que soient d'ailleurs la forme et les dimensions de la flamme, une toile métallique placée dans la région *oa*, à n'importe quelle hauteur, chante à l'unisson de l'anche et renforce énergiquement le son produit.

Il faut donc écarter toute interprétation de la sensibilité de ces flammes, qui ferait intervenir une pulsation à l'orifice, une vibration d'amplitude sensible dans la région *oa*.

5. Les propriétés de la région troublée *ab* contrastent avec les précédentes.

1° La petite flamme *q* s'agite, lorsque, l'extrémité *p* du tube capillaire de cuivre étant au-dessus de *a*, on vient à exciter la flamme; son agitation est d'autant plus vive qu'on s'élève davan-

---

([1]) Par exemple, en faisant dégager le gaz, par un tube étroit, à travers un flacon laveur, de manière à obtenir un torrent de bulles.

([2]) Il est parfois nécessaire, pour faire parler l'anche, d'avoir un débit de gaz supérieur à celui de la flamme; l'excès de gaz se dégage dans la hotte de la cheminée par un tube supplémentaire.

tage; bientôt la petite flamme devient plus sensible que la grande, et s'éteint si l'excitation est trop forte ([1]).

2° Si l'on dirige la pointe d'une petite flamme auxiliaire sur un point de *oa*, on produit le long de la flamme principale un filet lumineux qui tranche nettement. Quand on excite la flamme, le filament lumineux se tient tranquille jusqu'au niveau *a*. Au-dessus, il participe visiblement à l'agitation de la flamme.

3° Si, à l'aide d'une toile métallique, on supprime toute la région éclairante *bc* de la flamme, l'excitation n'en persiste pas moins dans la région *ab*. Une toile métallique ou un corps quelconque plongé dans cette région fait entendre, dès qu'on excite la flamme par n'importe quel procédé, non un son musical, mais un sifflement très énergique et qui persiste en décroissant jusqu'en *a*, où il s'éteint. Cette expérience permet de fixer assez exactement la limite de la région *oa*.

4° Une petite flamme mise en contact avec la flamme excitée commence à s'agiter en *a*. Au-dessus de ce point, on peut l'écarter du contact; elle continue à être troublée, dénotant une agitation de l'air, qui s'étend d'autant plus loin qu'on s'élève davantage au-dessus de *a*. L'air est, au contraire, parfaitement tranquille autour de *oa*.

Rien d'essentiel n'est changé aux phénomènes si l'on modifie la longueur du tube amenant le gaz, ou si l'on emploie des orifices de forme irrégulière; avec ces derniers, qui favorisent en général les tourbillonnements, la flamme a seulement plus de tendance à ronfler.

6. Un cas fait exception : c'est celui où la flamme rend d'elle-même un son musical. La production de telles flammes est très capricieuse; j'ai réussi à en obtenir plusieurs à l'aide de tubes

---

([1]) On n'obtient de flamme en *q* que si l'extrémité *p* se trouve dans des régions où il existe du gaz combustible; on ne peut donc explorer ainsi ni la périphérie, ni la partie supérieure de la flamme.

On tourne la difficulté en substituant au tube *pq* un tube plus long, alimenté par une source indépendante et percé vers son milieu et à sa partie inférieure d'un petit trou qu'on place dans telle région de la flamme que l'on veut. Suivant que cette région est calme ou agitée, la flamme *q* est elle-même tranquille ou troublée.

recourbés ou renflés périodiquement de manière à favoriser des pulsations régulières du gaz.

Ces flammes jouissent de propriétés spéciales :

1° Le jet de gaz non enflammé peut rendre le même son que la flamme. On observe, au contraire, que le sifflement plus ou moins fort d'un jet de gaz ordinaire disparaît dès qu'on l'enflamme ([1]).

2° La flamme chantante prend habituellement un aspect fusiforme, que l'on retrouve aussi dans une flamme alimentée à travers un tuyau à anche ; mais cet aspect se distingue nettement de celui de nos flammes excitées.

3° La flamme, rendue éclairante à sa base, montre très nettement, dans un miroir tournant, des stries qui s'étendent jusqu'au voisinage de l'orifice.

4° Une toile métallique ou un corps solide, plongé dans la région obscure de la flamme, renforce énergiquement le son. En général, le renforcement est presque nul au voisinage de l'orifice ou vers la base de la partie éclairante; il est maximum en un point intermédiaire situé dans l'espace obscur. Il faut donc comparer cette région de la flamme à un vrai tuyau sonore. On s'explique d'ailleurs qu'il soit assez difficile de réaliser une flamme chantante, puisqu'il doit exister une relation déterminée entre les dimensions du tube et celles de la flamme pour que l'une et l'autre admettent un harmonique commun.

5° Fréquemment le tube et la flamme sont susceptibles de produire presque indifféremment plusieurs harmoniques ; alors le son, plus ou moins pur, hésite pour ainsi dire entre ces divers harmoniques et saute brusquement de l'un à l'autre ; la forme de la partie inférieure de la flamme éprouve des modifications correspondantes, qui permettent de mesurer grossièrement la longueur d'onde.

Dans ce cas aussi, l'introduction de la toile métallique peut suffire à déterminer le changement d'harmonique, en produisant un nœud au point où elle se trouve : suivant qu'on la place vers la

([1]) Ce seul fait tend déjà à écarter une explication proposée par Tyndall, et d'après laquelle les sons auxquels une flamme est sensible sont ceux qu'elle rend en frottant contre l'orifice d'émission.

base de la partie éclairante ou au milieu de l'espace obscur, on obtient deux sons à l'octave aiguë l'un de l'autre.

Il est remarquable que l'orifice est toujours un nœud, comme l'embouchure d'un hautbois ou d'une clarinette.

6° Les phénomènes de la combustion troublent et compliquent les phénomènes réguliers dont la partie éclairante d'une flamme chantante est le siège. Il semble que cette partie éclairante ait une tendance à vibrer à l'unisson de la base de la flamme, formant au-dessus comme une deuxième concamération fusiforme, beaucoup plus longue que la première, puisque la température y est beaucoup plus élevée ; mais la toile métallique placée dans cette région ne fait entendre le plus souvent qu'un bruit confus, dans lequel le siflement ou le ronflement prédominent.

7° Quand on produit, au voisinage d'une flamme chantante, le son qu'elle est apte à donner d'elle-même, elle renforce ce son, comme on devait s'y attendre. Suivant ses dimensions et la pression du gaz, les autres sons ou bien la laissent tout à fait indifférente, ou l'excitent à la manière des flammes sensibles que nous avons étudiées. Par exemple, une flamme rendant un son très aigu pourra être excitée à la façon de nos flammes sensibles pour des sons d'une acuité modérée : alors elle siffle et forme le panache ; mais elle chante et devient fusiforme aussitôt que le son produit se rapproche suffisamment du son propre de la flamme.

7. Les expériences qui précèdent nous montrent la flamme chantante sous l'aspect d'un véritable résonateur ; mais, en même temps, elles excluent toute explication analogue étendue aux flammes sensibles silencieuses ou ronflantes dont nous avons décrit les propriétés toutes différentes et souvent opposées. *Nous devons demander l'explication de ces propriétés aux phénomènes propres de la combustion.*

Nous admettrons :

1° Que dans une flamme sensible, prête à ronfler, il y a une région à partir de laquelle le mélange de gaz et d'air se fait d'une manière irrégulière. Des portions très petites de mélange inflammable peuvent ainsi échapper à la combustion immédiate, et s'enflammer plus haut ou ne pas s'enflammer du tout.

Nous admettrons encore :

2° Que la production d'un son facilite l'explosion d'un mélange, si la période du son est suffisamment voisine de celle du bruit explosif.

La première de ces deux propositions se justifie par l'apparence même des flammes sensibles. On voit fréquemment, avec de larges orifices, des filets lumineux prendre naissance au-dessus de *ab*, à des hauteurs arbitraires, en dehors de l'enveloppe principale de la flamme.

Les conditions qui, en dehors de l'excitation sonore ([1]), font passer la flamme de la forme 1 à la forme 2, agissent toutes pour faciliter les mélanges irréguliers :

1° L'accroissement de pression augmente la vitesse axiale du courant gazeux et favorise ainsi le tourbillonnement de la flamme.

2° L'effet d'un ajutage très large est d'épaissir la flamme à sa base, à l'intérieur de l'ajutage, et d'incurver les filets gazeux, qui tendent à s'entre-croiser dans la région étranglée, au-dessus de l'ajutage.

3° L'insufflation d'air par un orifice, toujours plus ou moins excentré par rapport à l'orifice principal, agit à la fois en provoquant le tourbillonnement et en apportant le deuxième élément du mélange. C'est donc le plus efficace des trois procédés que nous avons indiqués.

8. Si l'on admet notre seconde hypothèse, on arrivera à prévoir ce résultat de l'observation, qu'il n'y a pas de limite supérieure à l'acuité des sons susceptibles d'exciter une flamme donnée. Le son produit par la détonation d'un mélange explosif est, en effet, d'autant plus aigu que la masse du mélange est plus petite, et il n'y a pas de limite à la petitesse des masses de gaz mêlées accidentellement dans la flamme. Au contraire, la présence de grandes masses de gaz ayant échappé à la combustion est impossible et il en résulte une limite inférieure pour l'acuité, limite d'autant plus

---

([1]) *Voir* ci-dessus § 3, p. 168.

basse que la pression du gaz est plus faible et l'orifice d'émission plus large.

On constate en effet que, pour un même orifice, la limite inférieure de l'acuité des sons qui impressionnent la flamme s'abaisse quand la pression s'élève, et que, pour une même pression, elle est plus basse avec les orifices larges.

On s'attendrait sans doute, d'après cela, à ce qu'une flamme sensible rendît exactement le son musical qui l'excite. Mais il faut remarquer que, s'il favorise les détonations de même période, chacune de celles-ci, en déformant arbitrairement la flamme, produit des mélanges dont le volume et, par suite, la période explosive sont indéterminés. Le son musical renforcé se perdra donc dans le sifflement général de la flamme.

L'expérience montre d'ailleurs que ce sifflement, surtout quand on le renforce par une toile métallique, est éminemment propre à exciter une flamme sensible voisine, ainsi qu'il fallait s'y attendre.

9. En résumé, une flamme sensible de l'espèce de celles que nous avons décrites n'est comparable à un résonateur fixe ni dans son ensemble, ni dans aucune de ses parties. On ne peut admettre avec Tyndall ([1]) qu'elle doit ses propriétés à la production d'un son développé par le frottement de la veine gazeuse sur l'orifice ([2]). L'exemple des flammes chantantes, qui sont bien des résonateurs, mais dont les propriétés s'opposent à celles des flammes sensibles, met ces hypothèses à néant.

La flamme sensible que j'ai étudié doit ses propriétés à une véritable ceinture de détonateurs, de positions et de périodes arbitraires et continuellement variables entre certaines limites. Les autres causes qui peuvent agir sur les flammes sont, non pas abolies, mais habituellement masquées par l'effet largement prédominant de ces détonateurs propres à la flamme. L'influence de ces causes ne se révèle donc que dans des cas très particuliers, comme nous l'avons vu par l'exemple si curieux des flammes à la fois chantantes et sensibles.

([1]) *Le Son*, p. 261 et suiv.

([2]) Rappelons que les orifices percés en mince paroi se comportent absolument comme les orifices terminaux de tubes effilés à la lampe.

On remarquera que notre théorie des flammes sensibles offre des rapports très étroits avec celle que l'on invoque d'ordinaire pour expliquer l'harmonica chimique.

SÉANCE DU 5 JUILLET 1895.

PRÉSIDENCE DE M. BOUTY.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 21 juin est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. CHARPENTIER, Professeur à la Faculté de Médecine de Nancy;
DELPEUCH, Inspecteur de la Compagnie des chemins de fer de l'Est, à Paris.

M. DELAURIER adresse une Note intitulée : *Indication d'un nouvel appareil pour faire l'analyse des gaz.*

M. PIERRE WEISS expose des recherches sur l'*aimantation non isotrope de la magnétite cristallisée.*

La courbe d'aimantation de la magnétite, cristallisée dans le système cubique, présente les mêmes caractères généraux que celles du fer, du nickel et du cobalt, mais la grandeur de cette aimantation varie avec son orientation par rapport aux axes cristallographiques. Elle a été mesurée par la méthode du galvanomètre balistique, modifiée de façon à l'adapter à la petitesse des corps en expérience. L'aimantation et le champ magnétisant sont déterminés tous deux par des impulsions du galvanomètre. Les mesures ont porté sur des prismes taillés parallèlement aux axes du système cubique. L'aimantation est maxima suivant l'axe ternaire, un peu moindre suivant l'axe binaire et minima suivant l'axe quaternaire.

Ces expériences ont été confirmées par d'autres plus directes. On fait tourner un disque de magnétite d'angles mesurés, dans un champ puissant. Une petite bobine, entourant le disque et reliée au galvanomètre, mesure les variations que subit l'aimantation quand l'orientation du disque change. On a opéré sur des disques parallèles à la face du cube, de l'octaèdre et du dodécaèdre rhomboïdal. Si l'on résume les résultats expérimentaux en portant sur tous les rayons vecteurs issus d'un point une longueur égale à l'aimantation à saturation dans la direction du rayon considéré, la surface ainsi obtenue est un cube à arêtes fortement arrondies et à faces légèrement creuses. L'aimantation est la même dans toutes les directions con-

tenues dans la face de l'octaèdre. La surface magnétique a donc des sections circulaires suivant les plans de ces faces.

Quand on place un disque de magnétite sur un plan de verre, entre les pôles d'un aimant, l'un des axes d'aimantation maxima de son plan s'oriente spontanément dans la direction du champ. L'expérience est montrée par projection à la Société.

Quand la direction du champ ne coïncide pas avec celle d'un des axes maxima ou minima, l'aimantation est oblique par rapport au champ. L'appareil qui a servi à déterminer les variations de la composante de l'aimantation dans la direction du champ permet de mesurer la composante de l'aimantation perpendiculaire au champ.

Cette obliquité de l'aimantation est visible dans la reproduction photographique d'un spectre magnétique obtenu avec de la limaille de fer qui représente la déformation des lignes de forces par un disque de magnétite placé dans une position dissymétrique.

Indépendamment de la différence que ces expériences accusent entre les corps cubiques et les corps isotropes, elles montrent que les théories qui admettent que l'aimantation résulte de l'orientation d'éléments de moment magnétique fixe sont insuffisantes pour représenter l'aimantation des corps cristallisés.

Propriétés de la neige carbonique. — M. P. Villard expose les résultats des expériences qu'il a faites sur l'acide carbonique solide, en collaboration avec M. R. Jarry.

L'acide carbonique cristallisé fond à —57° sous une pression de $5^{atm},1$. Ce point de fusion a été déterminé au moyen d'un thermomètre à toluène plongé dans l'acide carbonique fondant; ce dernier était contenu dans un tube de verre protégé contre le rayonnement par un revêtement métallique et des enceintes convenables.

Les cristaux d'acide carbonique sont sans action sur la lumière polarisée.

Le point d'ébullition de la neige carbonique sous la pression ordinaire, c'est-à-dire la température qu'elle prend d'elle-même, quand elle est exposée en vase ouvert, a été déterminé également avec un thermomètre à toluène protégé avec soin contre le rayonnement. Ce point d'ébullition est situé à — 79°, et à cette température la vapeur émise possède une force élastique précisément égale à la pression de l'atmosphère, conformément aux lois de l'ébullition. Il est donc impossible d'admettre la température de — 60°, antérieurement proposée, à laquelle correspond une force élastique de vapeur d'environ 4^{atm}.

Contrairement à une opinion très répandue, l'éther ajouté à la neige carbonique n'en abaisse pas la température. Quelle que soit la manière dont on fait le mélange, la température minima est — 79°; elle n'est atteinte que s'il y a excès de neige, et l'effet thermique, d'ailleurs très faible, dû à la dissolution de l'acide carbonique, ne peut se manifester

dans les conditions ordinaires. Le froid obtenu est dû à ce que la neige est froide et qu'elle tend à se maintenir à son point d'ébullition; par suite elle ramène à ce point le liquide qui l'entoure.

Le chlorure de méthyle agit tout autrement : la neige s'y dissout sans dégagement gazeux à partir de — 65°, et, au moment de la saturation, le thermomètre marque — 85°, température inférieure à celle du plus froid des corps employés. On a ainsi un véritable mélange réfrigérant, comparable au mélange d'azotate d'ammoniaque et d'eau. Aussi tout excès de neige est-il nuisible et tend à réchauffer le mélange.

Le protoxyde d'azote liquide a été essayé sans succès comme dissolvant de la neige carbonique.

Dans le vide la température de la neige carbonique s'abaisse facilement à — 125° et ce froid peut être maintenu très longtemps avec peu de matière. Ce résultat est peu différent de celui qu'avait obtenu M. Pictet en 1877.

L'auteur conclut de cette dernière expérience qu'il est facile d'arriver à liquéfier l'oxygène sans autre réfrigérant que la neige carbonique et avec les ressources ordinaires d'un laboratoire, ce qui permettra d'atteindre sans difficulté de très basses températures.

M. Guillaume signale un travail présenté récemment à l'*Académie des Sciences de Cracovie,* par M. Olszewski, sur les *constantes critiques de l'hydrogène.* Dans un précédent travail, M. Olszewski avait montré que, lorsqu'on fait détendre de l'hydrogène préalablement refroidi à — 210° et fortement comprimé, il se trouble invariablement lorsqu'on atteint la pression de 20 atmosphères, tandis que le nuage ne se produit dans l'éprouvette que pour une pression plus faible, lorsque la compression n'a pas été assez énergique. L'auteur en conclut que, dans ce dernier cas, la condensation a lieu au-dessous du point critique, tandis qu'elle se produit au point critique lui-même quand la compression a été suffisante. Admettant cette pression de 20 atmosphères comme pression critique, M. Olszewski a répété l'expérience dans une éprouvette d'acier, dans laquelle on avait placé un fil de platine très fin, dont la résistance indiquait la température du gaz. La détente à 20 atmosphères, dans les conditions produisant la condensation, a donné une température de — 234°,5, et, en descendant jusqu'à 1 atmosphère, la température s'est abaissée jusqu'à — 244°.

Neige carbonique;

Par MM. P. Villard et R. Jarry.

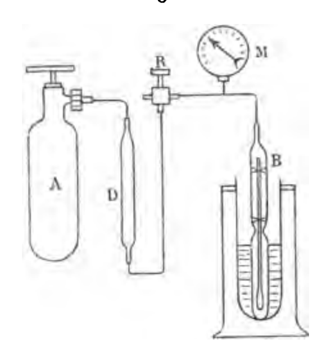
L'acide carbonique solide, facile à obtenir sous forme de neige, constitue un agent frigorifique à la fois puissant et d'un usage commode; mais, en ce qui concerne la température qu'on peut

obtenir par son emploi, il existe un désaccord remarquable entre les renseignements publiés par les auteurs qui ont étudié ce corps. C'est ainsi que l'on a attribué à la neige carbonique, exposée à l'air libre, des températures variant de — 89° à — 60°. D'autre part, malgré les expériences de Regnault, on admet généralement que l'éther, ajouté à l'acide carbonique solide, en abaisse notablement la température. Parfois on rencontre des résultats en contradiction avec les lois de la Physique.

Nous avons étudié à notre tour ce corps si intéressant, mais en évitant toute complication expérimentale, et, dans ce but, évaluant les températures simplement au moyen d'un thermomètre à toluène, tel qu'on sait les construire aujourd'hui, et d'ailleurs vérifié.

Point de fusion de l'acide carbonique solide. — Une certaine quantité d'acide carbonique cristallisé a été préparée en dirigeant le gaz comprimé, provenant d'un récipient A, dans un tube refroidi B, en cristal, de 2^{cm} de diamètre, suivant l'axe duquel était disposé un thermomètre soutenu à hauteur convenable par des croisillons en liège.

Fig. 1.



L'appareil était complété par un manomètre M, un tube desséchant D, et un robinet R permettant de faire communiquer le tube B soit avec le récipient A, soit avec l'atmosphère.

L'acide carbonique se condensait à l'état solide dans le tube B; on arrêtait la distillation, quand la masse solidifiée enveloppait le

thermomètre assez haut pour qu'il n'y eût pas de colonne émergente au moment de la fusion; le robinet R, disposé comme un robinet à trois voies, permettait alors de supprimer toute communication avec A, puis de faire dégager une certaine quantité de gaz carbonique provenant du tube B, de manière à purger l'appareil.

Ces opérations effectuées, le tube B a été retiré du mélange réfrigérant, entouré rapidement d'une gaine en papier d'étain préparée d'avance et destinée à arrêter le rayonnement, puis introduit dans un tube plus large, en verre mince, argenté extérieurement et disposé dans une enceinte vide d'air, pourvue d'un revêtement intérieur métallique.

La fusion n'a pas tardé à se produire, durant laquelle la température s'est maintenue pendant près de vingt minutes à — 57°; le manomètre indiquait, en même temps, une pression constante de $5^{atm},1$.

Après fusion presque complète, la température et la pression s'étant élevées, le tube a été refroidi et la solidification observée; comme la fusion, elle a été accompagnée d'un arrêt du thermomètre à — 57° et du manomètre à $5^{atm},1$.

Ainsi l'acide carbonique cristallisé fond à — 57° (1) sous une pression de $5^{atm},1$. C'est à peu près ce qu'avait trouvé Faraday.

La neige carbonique, préparée à la manière ordinaire, puis enfermée dans un tube analogue au précédent, a donné sensiblement les mêmes résultats, mais l'observation du thermomètre se fait moins bien qu'avec l'acide cristallisé et il est difficile de ne pas avoir de colonne émergente.

Nous n'avons eu que des corrections insignifiantes à faire subir à la température lue directement; le thermomètre n'avait pas de colonne émergente, son zéro s'était à peine déplacé de quelques centièmes de degré et la pression ne modifiait les indications de l'instrument que d'une quantité inférieure à 0°,1.

---

(1) Cette température diffère un peu de celle que nous avons donnée dans une Note insérée aux *Comptes rendus*, 24 juin 1895. Nous la considérons comme plus exacte, parce qu'elle a été obtenue directement avec un thermomètre-étalon et qu'en outre toutes les précautions nécessaires ont été prises pour éviter les effets du rayonnement.

Au courant de ces expériences, nous avons constaté que l'acide carbonique est plus dense à l'état solide qu'à l'état liquide.

Propriétés optiques. — Les cristaux d'acide carbonique se conservent assez longtemps à l'air libre, et le gaz qu'ils dégagent les protège contre tout dépôt de givre; aussi est-il facile de les examiner au microscope, en ayant soin cependant de les maintenir en place, car ils tendent à se déplacer en tous sens sur la plaque de verre qui les supporte. Leur action sur la lumière polarisée s'est montrée absolument nulle, même avec l'aide d'un quartz teinte sensible.

Température de l'acide carbonique solide à l'air libre. — Fondant sous une pression de $5^{atm},1$, l'acide carbonique ne peut, sous la pression atmosphérique, exister qu'à l'état gazeux, ou à l'état solide, hormis le cas de surfusion, et se comporte comme l'arsenic. Aussi, quand on ouvre un tube contenant de l'acide carbonique liquide, ce dernier se solidifie rapidement. De plus, l'acide solidifié, exposé en vase ouvert, doit prendre spontanément la température pour laquelle la force élastique de sa vapeur est égale à la pression extérieure. C'est, en effet, ce qui arrive: à l'air libre l'acide carbonique cristallisé ou neigeux se maintient à une température constante de $-79°$. Les variations de la pression atmosphérique sont, en général, trop faibles pour modifier sensiblement cette température. Mais il convient, surtout avec l'acide cristallisé, de protéger le thermomètre contre le rayonnement des objets extérieurs. Nous avons évité cette cause d'erreur en disposant la neige carbonique dans un tube en verre mince, de 35^{mm} de diamètre, argenté extérieurement, et placé dans une enceinte portant un revêtement métallique intérieur. A l'exemple des physiciens anglais, nous avons fait le vide dans une enceinte, afin d'éviter tout apport de chaleur par convection. Dans ces conditions, la neige carbonique se conserve longtemps et la constance de sa température est facile à constater.

Nous avons ensuite vérifié qu'à $-79°$ la vapeur émise par la neige possède une force élastique précisément égale à la pression atmosphérique.

Ce résultat était facile à prévoir : si, en effet, la force élastique

de la vapeur était supérieure à la pression atmosphérique, la vaporisation extrêmement rapide, qui se produirait alors, abaisserait la température de la neige; si elle était inférieure, la vaporisation s'arrêterait, et, sous l'influence des corps environnants, la neige se réchaufferait; il n'y aurait plus qu'une simple évaporation, limitée à la couche de neige exposée à l'air, et très faible si cet air n'est pas renouvelé constamment. L'équilibre ne peut avoir lieu que si la température du solide est précisément celle qui correspond à une force élastique égale à la pression extérieure. On est ainsi en présence d'un véritable phénomène d'ébullition, soumis aux lois connues qu'aucune raison n'empêche d'appliquer aux corps solides.

Ainsi le point d'ébullition de l'acide carbonique solide, sous la pression ordinaire, est situé à —79°. Regnault avait trouvé —78°,16 avec le thermomètre à air ([1]), Pouillet —79°, Cooke — 80° ([2]), Jarolimek —78°,2 ([3]), M. Pictet —80°. Enfin, M. P. Chappuis, dont la compétence, en pareille matière, est indiscutable, a bien voulu nous communiquer les résultats qu'il a obtenus jusqu'à présent avec le thermomètre à hydrogène; la moyenne de plusieurs expériences a donné —79° pour la température cherchée.

En présence de ce résultat, il nous est impossible d'admettre, avec MM. Cailletet et Colardeau ([4]), que la température de la neige carbonique, exposée en vase ouvert, puisse être voisine de — 60°; à cette température, la force élastique de la vapeur émise étant de 4 atmosphères environ, un pareil fait serait contraire aux lois de l'ébullition, et constituerait une anomalie qui n'est pas signalée par les auteurs. Le résultat indiqué plus haut est, au contraire, conforme aux lois en question, et s'est reproduit toujours identique dans toutes les expériences.

Mélanges réfrigérants. — On a souvent affirmé, malgré les expériences de Regnault (*loc. cit.*), que l'éther mélangé à la neige

---

(1) *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. XXVI, p. 259.
(2) *Chemical physics* par Josiah Cooke (Boston, 1860), p. 592.
(3) *Wiener Monatshefte,* t. III, p. 835.
(4) *Comptes rendus,* t. CVI, p. 1631.

carbonique en abaissait la température. MM. Cailletet et Colardeau (*loc. cit.*) fixent à 17° environ la valeur de cet abaissement, et, pour mettre en évidence le rôle spécial qu'ils attribuent à l'éther, citent ce fait que le contenu d'un tube Natterer, plongé dans le mélange d'éther et de neige, se congèle rapidement; cela prouve bien que la température du mélange est inférieure au point de fusion de l'acide carbonique, mais on ne peut tirer de cette expérience aucune conclusion relativement à la neige seule, dans laquelle d'ailleurs, la congélation en question réussit parfaitement.

Cette prétendue action réfrigérante de l'éther a été attribuée à la dissolution de la neige dans le liquide : les auteurs précédents ajoutent que la température minima doit être, par suite, obtenue au moment de la saturation, et ne pas être sensiblement modifiée par l'addition d'un excès de solide. Cette dernière affirmation paraît difficile à admettre; à partir du moment où l'éther est saturé, tout excès de neige, dès lors insoluble, se comporte comme un corps inerte, et, si cette neige est réellement plus chaude que le mélange, elle doit le réchauffer, et cela d'autant plus qu'elle est en excès plus considérable.

Voici, au contraire, ce que nous avons observé : quelle que soit la manière dont on fait le mélange, la température minima n'est atteinte que quand il y a excès de neige ou d'acide cristallisé, et le thermomètre ne descend pas au-dessous de — 79°. L'ébullition de l'acide carbonique continue à se produire au sein du liquide et se traduit par un dégagement continu de bulles gazeuses. Conformément aux lois connues, l'ébullition s'arrête si l'on refroidit le mélange au-dessous de — 79°, ou encore si l'on ferme le tube; dans ce cas, la température s'élève, puis redescend à — 79°, quand on ouvre à nouveau le tube. Il convient donc d'attribuer le froid produit à ce que la neige est froide et qu'elle tend à se maintenir à son point d'ébullition; elle y ramène, par suite, le liquide qui l'entoure, à condition qu'elle soit en excès suffisant. La température minima étant la température même de la neige carbonique, on s'explique sans peine qu'un excès considérable de celle-ci ne change rien au résultat. Si le refroidissement de l'éther, auquel on ajoute de l'acide carbonique solide, provenait d'un phénomène de dissolution, l'effet maximum serait obtenu au

moment précis de la saturation, ce qui n'est pas. D'ailleurs, l'effet thermique, résultant de la dissolution de l'acide carbonique, est tellement faible que, pour le constater, il faut refroidir préalablement l'éther à — 79° ; l'addition d'une petite quantité de neige à ce liquide aussi froid qu'elle, et encore en possession de tout son pouvoir dissolvant, produit un abaissement de température de 1° environ.

Regnault n'a d'ailleurs trouvé qu'une différence de 0°,1 entre les températures de la neige carbonique seule ou additionnée d'éther. Dans les conditions où nous nous sommes placés, entourant un thermomètre de faible volume par une masse de neige de plus de 200gr, n'ayant aucune correction à faire subir aux observations, nous n'avons pas même constaté cette faible différence de 0°,1.

En mélangeant la neige carbonique avec du toluène, la température minima obtenue a été également de — 79°.

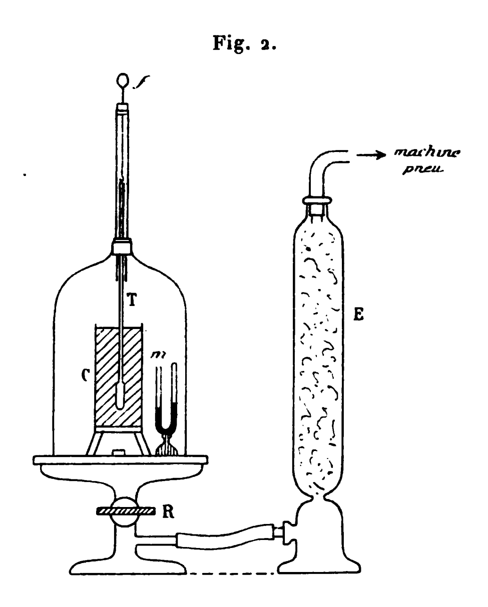
Le chlorure de méthyle se comporte tout autrement : à partir de — 65° environ, la neige carbonique s'y dissout sans dégagement gazeux, et le thermomètre atteint — 85° au moment de la saturation. Cette température étant inférieure de 6° à celle du plus froid des composants du mélange, et la dissolution de la neige se faisant dès — 65° sans dégagement gazeux, c'est bien au phénomène de la dissolution qu'il faut attribuer le résultat obtenu, et nous sommes d'accord avec MM. Cailletet et Colardeau en ce qui concerne le chlorure de méthyle. On est ici en présence d'un véritable mélange réfrigérant tout à fait comparable au mélange d'azotate d'ammoniaque et d'eau. Aussi tout excès de neige carbonique, insoluble dans le chlorure de méthyle saturé, se comporte comme un corps inerte et tend à ramener la température à — 79°.

Le passage d'un courant d'air sec dans ces mélanges permet d'en abaisser la température au delà de — 90°. On obtient à peu près le même résultat en les exposant à l'air par une large surface. C'est ainsi qu'un thermomètre, dont le réservoir est entouré de coton que l'on imprègne de chlorure de méthyle à peu près saturé d'acide carbonique, descend facilement à — 88°.

Nous avons essayé, sans succès, le protoxyde d'azote liquide comme dissolvant de la neige carbonique.

Température de la neige carbonique dans le vide. — On sait que M. Pictet, dans ses expériences sur la liquéfaction des gaz, a obtenu —130° par l'évaporation de l'acide carbonique solide dans le vide. Mais les essais effectués dans les laboratoires sont loin d'avoir donné le même résultat. La plus basse température obtenue a été —97° (Mitchell). MM. Cailletet et Colardeau (*loc. cit.*), se servant d'une pince thermo-électrique comme appareil thermométrique, fixent à —76° la limite que l'on peut atteindre dans les conditions où ils se sont placés.

Fig. 2.



Nous sommes arrivés beaucoup plus loin de la manière suivante : 120gr environ de neige carbonique ont été tassés dans un cylindre C, en toile métallique, pour faciliter le dégagement du gaz, fermé à sa partie inférieure par une plaque de liège, et placé sur la platine de la machine pneumatique, à côté d'un petit manomètre. Le thermomètre à toluène était disposé au centre de la masse de neige, et sa partie supérieure inutile se logeait dans un tube de verre ajusté sur la cloche. Celle-ci pouvait, par suite, n'avoir qu'une hauteur restreinte et une faible capacité. Un fil de cuivre *f*, glissant dans un bouchon, permettait de soulever le thermomètre au moment des lectures; on évitait ainsi de laisser

une colonne émergente. Une éprouvette à potasse E complétait l'appareil.

Le vide s'est fait avec la plus grande facilité; au bout de quinze minutes, le thermomètre marquait —115°. Peu après, il atteignait —125°, la pression, mesurée dans la cloche même, étant alors de 5^{mm} de mercure. Cette température a pu être maintenue pendant près de trois heures et il restait alors 60^{gr} de neige. La vaporisation de l'acide carbonique solide dans le vide est d'une lenteur remarquable : si l'on ferme le robinet R, la pression ne remonte que très lentement dans la cloche, bien que celle-ci soit alors isolée de l'éprouvette à potasse.

Cette température de —125° peut être considérée comme mesurée avec une approximation suffisante au point de vue pratique, bien que la graduation du thermomètre soit obtenue par extrapolation au delà de —75°. En effet, l'instrument nous a paru donner des indications exactes dans le protoxyde d'azote bouillant sous la pression ordinaire, ainsi que dans l'éthylène bouillant. L'extrapolation ne doit, par suite, donner lieu qu'à des erreurs très faibles et tout à fait sans importance, puisqu'il s'agit non pas de la détermination d'une constante physique, mais d'une température susceptible de varier suivant les conditions de l'expérience et le degré de vide réalisé.

On voit qu'il est possible de dépasser le point critique de l'oxygène (—118°) sans autre réfrigérant que la neige carbonique et avec les ressources ordinaires d'un laboratoire. C'est là un résultat d'une certaine importance pratique, puisque l'oxygène liquide permet d'atteindre de très basses températures; aussi nous proposons-nous de tenter l'expérience et de chercher à liquéfier l'oxygène par ce procédé.

Ajoutons en terminant que, pour obtenir en abondance une neige carbonique à peu près exempte d'eau et de matières grasses, il convient de distiller ou au moins de transvaser l'acide carbonique du commerce dans de petits récipients refroidis vers —20°. La distillation demande environ vingt minutes par kilogramme d'acide, le transvasement quelques secondes. Le refroidissement a, en outre, l'avantage d'augmenter beaucoup le rendement et l'on peut obtenir, à l'état de neige, 35 pour 100 de l'acide employé.

SÉANCE DU 19 JUILLET 1895.

Présidence de M. Cailletet.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le Procès-Verbal de la séance du 5 juillet est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Boudréaux (Louis), Propriétaire et Directeur des ateliers de galvanoplastie, à Paris.

Petit (Paul), Professeur au Lycée de Foix.

M. Limb présente à la Société son travail sur la *mesure directe des forces électromotrices en unités absolues électromagnétiques*. La méthode consiste à comparer la force électromotrice inconnue à une force électromotrice d'induction produite par la rotation d'un aimant à l'intérieur d'une bobine longue. Si $\mathcal{H}_1$ désigne le champ magnétique (sensiblement constant dans la région centrale) qui serait créé par le courant unité traversant le fil de la bobine, par $\mathfrak{M}$ le moment magnétique de l'aimant, et par ω la vitesse angulaire de rotation, la force électromotrice sinusoïdale ainsi engendrée a pour valeur maximum

$$E_{max} = \mathcal{H}_1 \mathfrak{M} \omega.$$

La valeur de $\mathcal{H}_1$ est $4\pi n_1$, n_1 désignant le nombre de spires par unité de longueur. Cette valeur doit être corrigée de l'influence des bouts, et l'on doit tenir compte de l'excentricité des pôles; cette dernière correction est très faible. Pour connaître n_1 exactement, on mesure le pas de la vis du tour, et l'on multiplie ce nombre par la raison du train d'engrenages qui commandait cette vis au moment du filetage de la bobine.

Le moment magnétique a été mesuré par la méthode de Gauss. Le couple $\mathfrak{M}\mathcal{H}$ produit par la composante horizontale du magnétisme terrestre sur l'aimant était équilibré directement par la torsion d'un fil d'argent préalablement étudié. Pour la mesure de $\frac{\mathfrak{M}}{\mathcal{H}}$, plusieurs perfectionnements ont été apportés soit au magnétomètre, soit à la façon de conduire l'expérience, de façon à éliminer toutes les influences perturbatrices possibles.

La vitesse maintenue constante au moyen d'un frein à ficelle en se guidant sur les indications d'un tachymètre dont le principe a été donné par M. Lippmann (*étalon électrique de temps et chronoscope des variations*), était mesurée par l'enregistrement simultané des tours de l'aimant et d'un pendule à seconde, sur le cylindre de l'appareil de Marey.

La comparaison de la force électromotrice induite et de celle d'un étalon à mesurer était faite au moyen d'un potentiomètre spécialement

étudié à cet effet. Enfin l'équilibre était observé au moyen d'un électromètre capillaire de M. Lippmann, légèrement modifié.

Les valeurs des forces électromotrices, à la température de 0°, en volts absolus, sont :

Pour l'étalon L. Clark........................	1,4535
Pour l'étalon Gouy...........................	1,3928
Pour l'étalon Daniell, modèle Fleming.........	1,0943

M. André Broca a étudié les phénomènes qui se produisent dans un circuit au moment où l'étincelle jaillit. Les phénomènes d'étincelle latérale ont été très étudiés depuis les expériences de Lodge, et l'on a vu que, lorsqu'une étincelle jaillit en un point d'un circuit, les étincelles latérales données par ce circuit sont plus longues que quand le circuit est ouvert. M. Broca a étudié le phénomène en se servant de tubes à vide excités unipolairement. Ceux-ci, au moment de l'étincelle, deviennent plus brillants, si l'étincelle est suffisamment disruptive. Si l'étincelle devient un arc, les tubes s'éteignent. Ils redeviennent brillants si l'on souffle l'arc, si l'on interpose un carton; toutes les fois que celui-ci est percé d'un trou, les tubes s'illuminent.

Si l'on étudie à l'électromètre ce qui se passe, on voit que ces augmentations d'éclat sont, dans une certaine mesure, indépendantes de la valeur du carré moyen du potentiel, mesuré au moyen d'un électromètre à une seule paire de quadrants et aiguille à terre. L'étude détaillée du phénomène, dû, comme le phénomène qui se passe à circuit ouvert, à une oscillation amortie, montre qu'au moment de l'étincelle il doit y avoir production d'ondulations plus rapides que celles de la bobine excitatrice, qui se propagent le long des fils de celle-ci. Nous arrivons à cette conclusion que, quand une étincelle se produit dans un circuit, celui-ci peut être parcouru par des oscillations plus rapides que son oscillation propre. Ceci donne donc un appui aux idées de MM. Sarazin et de La Rive sur la résonance multiple, sans infirmer celles de MM. Poincaré, Bjerknes.

D'autres expériences montrent que l'étincelle est bien le lieu d'ébranlement pour ces oscillations, qui s'amortissent à mesure qu'on s'éloigne de celle-ci.

Enfin, des fils, réunis aux deux côtés de l'étincelle et formant une sorte d'excitateur de Hertz, sont couverts d'aigrettes serrées au moment où l'étincelle jaillit. Celles-ci sont partout rectangulaires au fil, et semblent former des concamérations presque régulières et parfaitement fixes, qui dépendent plus de la nature de l'étincelle que de celle du fil.

Enfin, un fil placé entre deux étincelles s'illumine d'aigrettes sur toute sa longueur, et l'on peut le toucher sans éprouver d'action physiologique pénible tant que les étincelles jaillissent bien régulièrement.

Ces phénomènes sont donc très nets et évidemment liés à la rupture du diélectrique. Dans cette rupture, l'éther lui-même joue-t-il un rôle? Dans les idées reçues, cela semble difficile, car on admet que le vide absolu ne

peut être traversé par l'électricité sous aucune forme. Ceci a été démenti par Edlund et Goldstein. M. Broca a réussi, avec un tube de Hittorf à grosses électrodes de platine terminées en pointe et très rapprochées, à montrer dans ce tube, avec une énergie suffisante, d'abord des phénomènes cathodiques puis une véritable étincelle entre les deux pointes. L'éther seul, c'est-à-dire l'électricité, peut donc donner lieu à des phénomènes analogues à l'étincelle des diélectriques. Il n'est donc pas étonnant que, par celle-ci, il soit soumis à des oscillations irrégulières qui ne dépendent pas du circuit lui-même où se fait la décharge.

M. Broca adresse ses remerciements à M. Seguy qui lui a construit divers tubes avec le plus grand soin, et à M. Pellin qui lui a indiqué cet habile constructeur.

Séance du Conseil du 9 juillet 1895.

Plusieurs Membres russes de la Société française de Physique se trouvant à Paris, le Conseil a été heureux de les inviter à sa Séance du 9 juillet dernier.

M. le Professeur Stotelow de l'Université de Moscou, a rappelé le succès qu'avaient eu les Congrès des Électriciens, et il a exprimé le vœu qu'un Congrès, non seulement d'Électriciens, mais de Physiciens, eût lieu prochainement à Paris. Cette heureuse idée a été vivement approuvée par tous les Membres présents à cette réunion.

Puis M. le Professeur Oumoff a adressé au Conseil les paroles suivantes, que nous sommes heureux de porter à la connaissance de tous les Membres de la Société :

« Messieurs et chers Confrères,

» Les sentiments de reconnaissance et de profonde estime que nous vous exprimons aujourd'hui ne datent pas d'hier. Non, c'est depuis de longues années qu'ils ont été cultivés dans notre esprit. Vraiment, c'est dans des pages qui arrivaient de votre patrie, que nous avons bu à la source de la Science. La voix des Maîtres des bords de la Seine retentissait au loin sous les cieux de notre pays. En majeure partie, nous sommes disciples des hommes illustres de la France et interprètes de leur génie à l'Orient de l'Europe! Eh bien, voilà des disciples qui vous étaient inconnus, voilà une terre neuve, une Amérique, un domaine que vous avez soupçonné et que vous retrouvez dans sa réalité. Oui, Messieurs, j'ose dire que la Géographie, qui nous enseigne si minutieusement les frontières de votre patrie, est fort ignorante. Ce domaine que la France a conquis par son génie est immense. Il ne se définit pas par les postes des employés des douanes.

» Messieurs, l'Idée ne s'empare pas de la conscience des nations par violence, elle s'impose. C'est pourquoi elle n'efface pas la physionomie intel-

lectuelle d'une nation; au contraire, elle en profite. Chaque nation peut être comparée à un instrument musical qui possède son timbre particulier. Effacer ce timbre signifie anéantir l'instrument. C'est pourquoi l'Idée russe et l'Idée française ne peuvent marcher à l'unisson, mais, ce qui est sûr, c'est qu'elles constituent un accord parfait, majeur. On ne perçoit pas de battements. Ce n'est pas une perte, c'est un avantage : l'unisson meurtrit, ce n'est que l'accord qui donne la vie; c'est le beau, l'harmonie. par conséquent la vérité. Je pense qu'on retrouve cette même idée comme base de la vie sociale de la France.

» Il y a, Messieurs, un timbre tout particulier à la nation russe, c'est l'intimité. Le Russe qui rencontre quelque chose qui frappe son attention ne s'arrête pas seulement pour satisfaire sa curiosité. Non, il cherche à approfondir le sujet en lui-même, il veut connaître sa psychologie.

» Évidemment, ce désir d'intimité devient dominant dans un disciple qui arrive dans la métropole des maîtres. Eh bien, malheureusement, nous ignorons la vie intime de la France, et les ressorts qui ont engendré son génie et sa force.

» Oui, la France possède un trésor qui reste caché à nos yeux, et c'est avec une grande joie que j'acclame cette réunion, comme un des pas qui nous approchent d'une connaissance plus intime et fraternelle de deux grandes nations. »

Mesure directe des forces électromotrices en unités absolues électromagnétiques;

PAR M. C. LIMB.

PRINCIPE DE LA MÉTHODE.

Le plus souvent, on mesure une force électromotrice en évaluant d'abord une résistance R, puis une intensité de courant I. Si la chute de potentiel RI équilibre la force électromotrice inconnue x, on a, en effet :

$$x = \mathrm{RI}.$$

Dans un travail publié récemment ([1]), j'ai exposé une méthode permettant de comparer *directement* la force électromotrice inconnue à une force électromotrice d'induction, dans un cas où

([1]) Thèses de Doctorat. — Imprimerie Gauthier-Villars et fils, 1895.

celle-ci est *calculable*. On évite ainsi la mesure préalable de R, en valeur absolue, et l'emploi d'un galvanomètre ou d'un électrodynamomètre absolus. J'ai choisi comme force électromotrice calculable celle qu'engendre, dans le circuit d'une bobine indéfinie, un aimant permanent intérieur, tournant autour d'une ligne perpendiculaire à la fois à son axe magnétique et à celui de la bobine.

En désignant par $\mathfrak{M}$ le moment magnétique de l'aimant, par $\mathcal{H}_a$ le champ magnétique uniforme que créerait le courant unité circulant à travers les spires de la bobine, par ω la vitesse angulaire de rotation, il est aisé de voir que la force électromotrice *rigoureusement sinusoïdale* induite a pour valeur maximum

$$E_{max} = MH_a\omega = \mathfrak{M}\mathcal{H}_a 2\pi N_1,$$

en désignant par N_1 le nombre de tours effectués par seconde.

On obtient N_1 par l'enregistrement simultané des tours successifs de l'aimant et d'un pendule à secondes, la vitesse étant maintenue constante au moyen d'un tachymètre électrique spécial.

$\mathfrak{M}$ est déterminé par la méthode de Gauss.

Si la bobine était rigoureusement indéfinie, le champ à l'intérieur serait uniforme et aurait pour valeur $4\pi n_1$, pour l'unité de courant. Pratiquement il faut introduire une correction d'autant plus faible que le rapport $\frac{r}{l}$ de son rayon à la demi-longueur de la bobine est lui-même plus petit. Il faut de plus tenir compte du fait que les pôles de l'aimant se trouvent hors de l'axe au moment du maximum de la force électromotrice. On calcule aisément ces deux corrections en supposant réduites à leurs centres les faces polaires terminales de la bobine, dont l'intensité magnétique pour le courant unité est $\mu = n_1 S$, S désignant la surface d'une spire πr^2. On trouve, a désignant la demi-distance des pôles de l'aimant,

$$\mathcal{H}_a = 4\pi n_1 \left[1 - \frac{1}{2}\frac{r^2}{l^2}\left(1 + \frac{a^2}{l^2}\right)^{-\frac{3}{2}}\right].$$

La comparaison de cette force électromotrice induite avec celle qu'il s'agit d'évaluer pourrait être effectuée directement; mais alors il faudrait faire croître la vitesse jusqu'à ce que la compensation fût produite. J'ai trouvé plus commode de *comparer* les

deux forces électromotrices au moyen d'un potentiomètre que j'ai établi sur le principe du potentiomètre de Clark. Si l_1 et l_2 désignent les longueurs du fil potentiométrique qui correspondent à l'équilibre des forces électromotrices x, et E_{max}, on a

$$x = \mathcal{H}_a \mathcal{M}_a 2\pi N_1 \frac{l_1}{l_2}.$$

L'équilibre est constaté au moyen d'un électromètre capillaire de M. Lippmann.

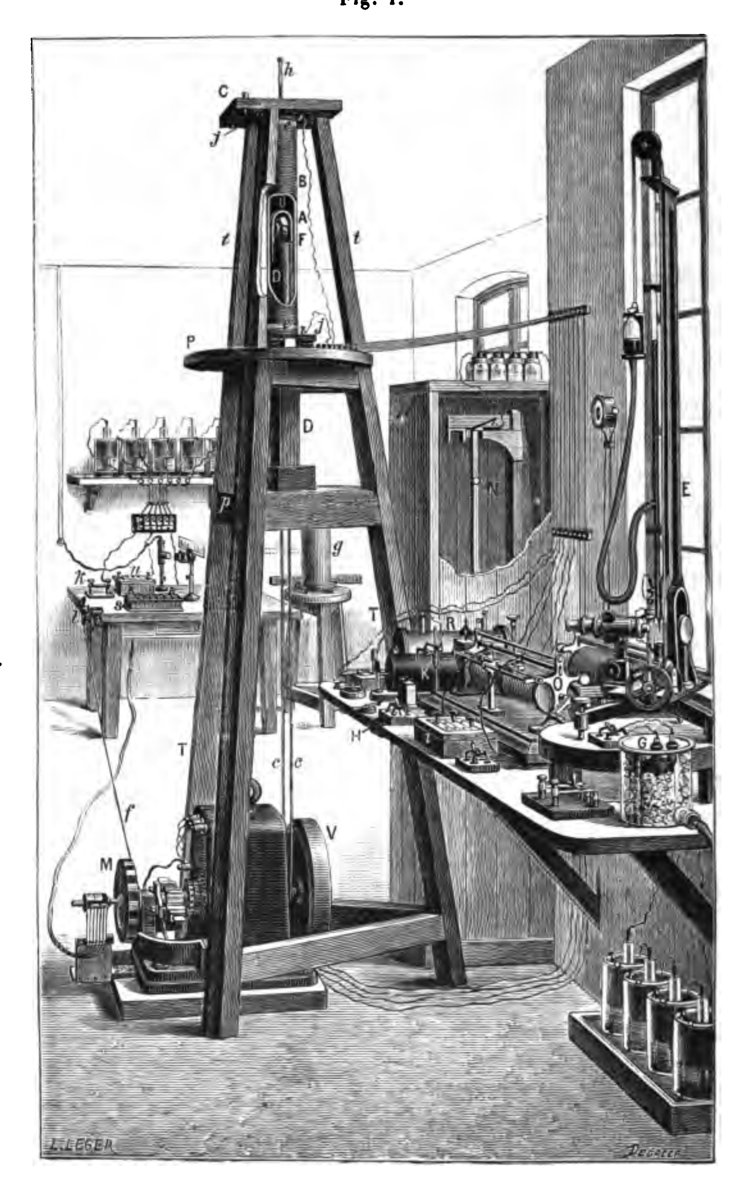
DESCRIPTION DES APPAREILS.

Le dispositif que j'ai employé comprend (*fig.* 1) une bobine B à l'intérieur de laquelle on peut faire tourner un aimant A supporté par une fourche solidaire d'une plate-forme P, dont est muni un trépied en chêne T très stable, malgré son élévation. La bobine est maintenu par des butées fixées à plate-forme P, et le cadre C qui termine un trépied t fixé au premier. L'un des côtés du cadre peut être à volonté ou maintenu en place au moyen de chevilles, de façon qu'il soit commode d'installer la bobine ou de la retirer. La pièce de chêne DD qui tient la fourche est assujettie dans les plateaux P et p au moyen de clavettes en bois, et porte deux entailles qui livrent passage à la courroie motrice. On voit sur la droite de la figure : l'électromètre, le potentiomètre, l'enregistreur de vitesse, le pendule, et, dans le fond, les éléments du tachymètre.

Bobine. — La carcasse de la bobine est formée d'un tube épais d'ébonite d'environ $0^m,10$ de diamètre extérieur, et $0^m,67$ de longueur. Un fil de cuivre de $0^{mm},3$ de diamètre, soigneusement isolé, suit la gorge d'une hélice préalablement tracée sur le tour parallèle. Le fil forme une seule couche. Il importe de déterminer avec précision le pas de cette hélice qui est l'inverse de n_1, ce qui revient à mesurer celui de la vis du tour, puisque le rapport de ces pas est égal à la raison du train d'engrenages employé. Celui de la vis a été trouvé de $0^{cm},498369$; il a suffi de tourner un barreau rigide de laiton, en y traçant, au moyen de la translation

du chariot, une génératrice du cylindre, et une hélice de même

Fig. 1.



pas que celui de la vis, au moyen d'un train de raison I. Le pas

de la bobine, tracé au moyen d'un train de raison $\frac{91}{1000}$, est donc de

$$0,498369\,\frac{91}{1000} = 0^{cm},0453516.$$

Il résulte de là $n_1 = 22,0499$ spires par centimètre.

Aimant. — L'aimant inducteur est formé de soixante-cinq barreaux carrés de $0^{cm},4$ de côté, et de $0^{m},06$ à $0^{m},08$ de longueur en acier spécial d'Allevard. Ces aimants sont disposés par cinq en treize rangées, et séparés les uns des autres par des bandes d'aluminium de $0^{cm},1$ d'épaisseur. Le faisceau est invariablement fixé dans une monture de ce même métal, qui porte aussi les deux tourillons *venus de fonte*, formant l'axe de rotation. En outre, d'un côté, se trouve fixée la poulie de commande en fibre vulcanisée ; de l'autre, un commutateur en verre qui, deux fois par tour, saisit la force électromotrice et la met en communication avec le circuit extérieur, juste au moment de son maximum, au moyen de balais en fine toile de laiton, fixés sur une pièce d'ébonite ; ces balais rencontrent, en léchant la surface polie du commutateur, deux étroits contacts également en laiton ([1]). Chacun des barreaux repérés a été porté à une température d'environ 850°, trempé à l'huile, puis aimanté entre les pôles d'un puissant électro-aimant de Faraday, modèle Ruhmkorff. Ces aimants ont été disposés dans la monture ; puis, le faisceau étant reformé, on l'a placé entre deux armatures sphériques en fer doux dans le champ magnétisant de l'électro-aimant.

J'ai mesuré, à chaque série d'expériences, le moment magnétique $\mathcal{M}$ par la méthode de Gauss.

Le couple $\mathcal{M}\mathcal{H}$, produit par la composante horizontale du champ magnétique terrestre, est directement équilibré par un couple de torsion, dont la constante est déterminée en prenant les précautions que j'ai indiquées précédemment ([2]). La direction du méridien magnétique est connue exactement au moyen d'un solé-

---

([1]) Quoique la durée du contact soit très courte, il faut néanmoins faire subir à la valeur de la force électromotrice induite une très légère correction, facile à calculer.

([2]) *Sur la détermination du moment du couple de torsion d'une suspension unifilaire* (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXIV, p. 157).

noïde parfait; c'est-à-dire d'une bobine à carcasse d'aluminium sur laquelle on a tracé une hélice destinée à recevoir le fil isolé. On place sensiblement son axe dans le méridien, et l'on vérifie si la condition est réalisée, en lançant un courant dans un sens convenable. On est assuré que l'axe est rigoureusement dans le plan du méridien, le fil de suspension étant sans torsion, lorsque le spot, envoyé par le petit miroir collé sur la bobine, reste immobile sur l'échelle transparente, que le courant passe ou soit interrompu. Il suffit alors de substituer à la bobine l'aimant dont l'axe est perpendiculaire par construction à celui de la bobine.

Le fil de suspension en argent d'un diamètre de $0^{mm},5$ est fixé à sa partie supérieure à un micromètre de torsion. Il est aisé d'empêcher l'aimant de s'orienter, au moyen d'une rotation convenable. Des détournements faciles à imaginer permettent d'éliminer l'influence de toutes les dissymétries et variations possibles. Pour amortir les oscillations de l'aimant, celui-ci était mobile à l'intérieur d'un cylindre de cuivre électrolytique de $0^{m},025$ d'épaisseur.

Pour la mesure de $\frac{\mathfrak{M}}{\mathfrak{H}}$, j'ai employé un magnétomètre dont l'équipage magnétique était formé de deux petits aimants en U dont les pôles de même nom sont en regard sans se toucher. Ce système bien symétrique, ayant un moment aussi grand que possible, relativement à son poids et à sa distance polaire d'environ $0^{m},01$ seulement, se meut librement à l'intérieur d'un cylindre de cuivre électrolytique de $0^{m},035$ d'épaisseur, qui amortit presque instantanément les oscillations. La direction du champ terrestre est déterminée à l'aide de la bobine dont il a été question plus haut. Les lectures des déviations sont faites à une distance de $3^{m},75$ du fil de cocon qui supporte l'équipage dévié. L'aimant est placé successivement à trois distances; et, pour chacune d'elles, on relève les déviations produites en le plaçant à l'ouest et à l'est (première position de Gauss); au sud et au nord (deuxième position). On peut voir aisément que la combinaison des résultats obtenus pour les deux positions élimine l'influence du magnétisme induit transversalement dans l'aimant par le champ terrestre. Le calcul de $\frac{\mathfrak{M}}{\mathfrak{H}}$ revient à la résolution d'un système de trois équations du premier degré.

Tous les appareils magnétiques étaient installés sur des piliers de maçonnerie placés dans une cave profonde de l'ancien laboratoire des recherches physiques de la vieille Sorbonne; la température se maintenait très constante, et je me trouvais à la fois à l'abri des trépidations et le plus loin possible des masses magnétiques susceptibles d'être déplacées pendant l'expérience.

La valeur de $\mathfrak{M}$ a peu varié pendant les trois années qu'a duré ce travail; elle est resté voisine de 3300 unités C.G.S. Le coefficient de température de l'aimant a été trouvé différent, selon qu'il correspond à une élévation ou à un abaissement de température. J'ai obtenu comme valeurs moyennes, dans le premier cas : $m_1 = 0,000891$; dans le second cas : $m_2 = 0,000638$.

Mesure de la vitesse angulaire. — La rotation est produite par un moteur électrique à excitation indépendante, et pouvant donner 800 watts, à la vitesse angulaire de 2000 tours par minute. Une force électromotrice de 10 à 22 volts animait l'induit; l'inducteur était excité sur 55 volts seulement, bien qu'il fût construit pour pouvoir en supporter 110. Sur l'axe dudit moteur sont calés, d'un côté, la poulie de commande et un volant de 40^{kg}, et de l'autre, un commutateur à 5 balais. Ce dernier est employé à constater la constance de la vitesse par la méthode si sensible indiquée par M. Lippmann [1], en la modifiant légèrement dans le but de doubler sa sensibilité. Les très petites irrégularités du moteur sont compensées à l'aide d'un simple *frein à ficelle,* agissant sur une poulie de bronze calée sur l'axe. On obtient la valeur de N_1, par l'enregistrement simultané d'un pendule à secondes et de chacun des tours de l'aimant même (pour éviter toute erreur de la part de la courroie de commande) sur le cylindre de Marey. Dans mes différentes expériences, j'ai produit des vitesses variant de 330 tours à 830 tours par minute.

Potentiomètre. — La comparaison de la force électromotrice induite avec celle que l'on mesure est faite, comme nous l'avons dit, au moyen d'un potentiomètre établi sur le principe du poten-

---

[1] G. Lippmann, *Sur une unité de temps absolue. Étalon électrique de temps et chronoscope des variations* (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences,* t. CIV, p. 1070; 1887).

tiomètre de Clark; mais dans lequel sont éliminées les diverses causes d'erreur telles que forces électromotrices parasites, varia-

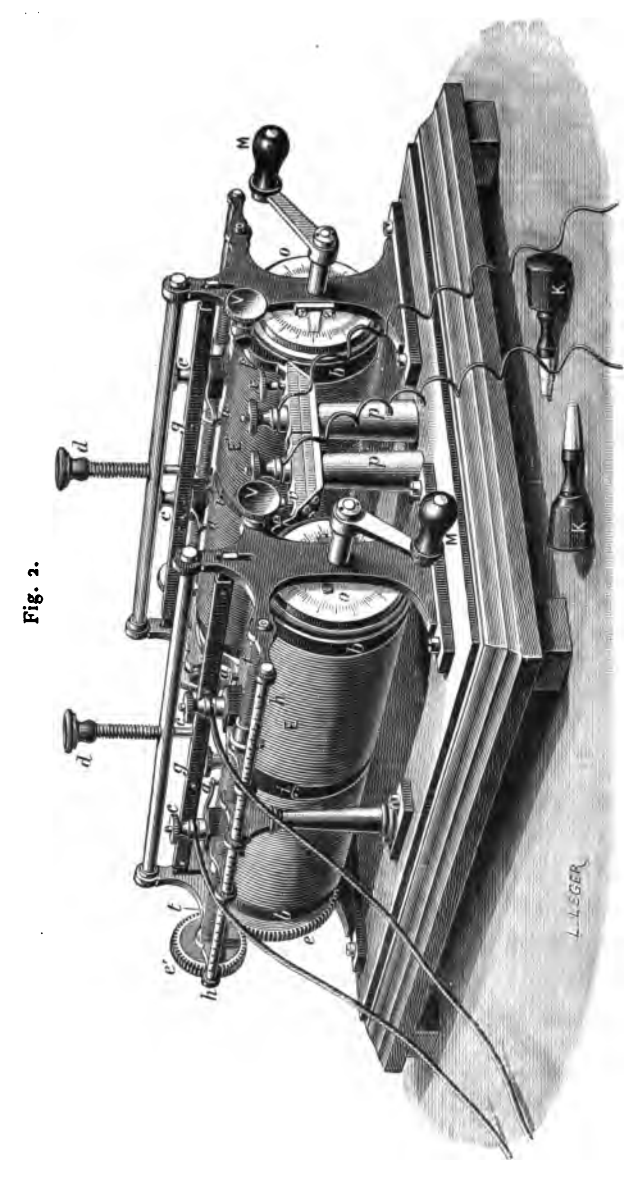


Fig. 2.

tions de résistance avec la température, etc. Il se compose essentiellement (*fig.* 2) de deux cylindres en ébonite de $0^{m},08$ de dia-

mètre et $0^m,30$ de longueur, sur lesquelles sont tracées, à partir du centre, deux hélices à pas contraires, dans la gorge desquelles s'enroule un fil nu en ferro-nickel (3X) de $0^{mm},5$ de diamètre; le jeu d'une manivelle à chaque cylindre permet le rapprochement ou l'écartement de deux curseurs, qui, par la pression d'un bouton d'ébonite, prennent contact avec le fil potentiométrique. On estime leur écartement, et par suite la longueur du fil intercalé, au moyen d'une graduation tracée sur la tige, et d'un cercle divisé. Quatre éléments Callaud produisent un courant à travers les fils. Le calibrage de l'instrument étant fait une fois pour toutes, il suffit d'équilibrer la force électromotrice inconnue sur l'une des bobines, et la force électromotrice induite sur l'autre. Le rapport des lectures, corrections faites, donne celui des forces électromotrices.

Électromètre. — L'équilibre est constaté au moyen d'un électromètre capillaire de M. Lippmann, accusant une différence de $0^{volt},00005$, à réservoir mobile, permettant de régler, avec facilité, la colonne de mercure, et surtout de vider presque complètement le tube, lorsque l'instrument n'est pas en service, ce qui le *conserve indéfiniment* dans le même état.

RÉSULTATS.

La *fig.* 3 indique le schéma des connexions.

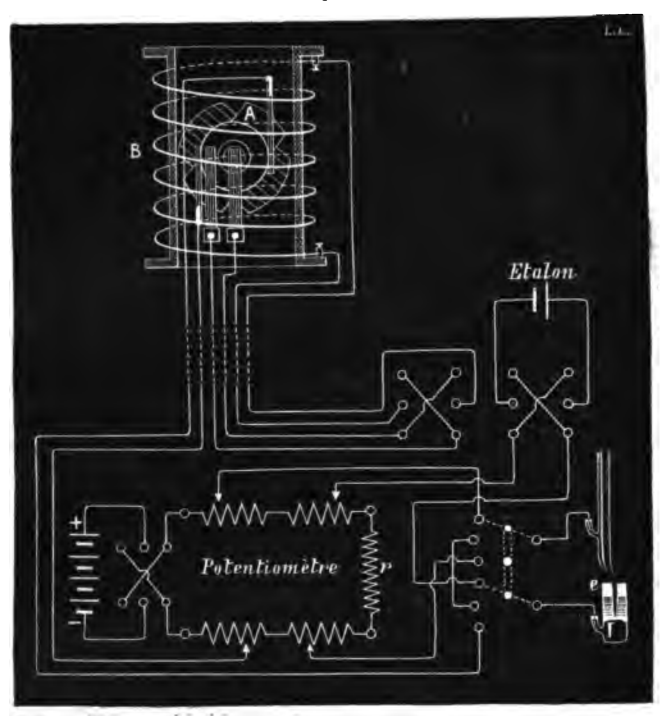
Les expériences ont porté sur les étalons L. Clark, Gouy et Daniell. Les mesures absolues, sauf pour le Daniell, que l'on remplit à chaque fois, ont été faites sur un même élément de chaque type. Pour le Daniell de la forme en U indiquée par le Dr J.-A. Fleming (¹), la solution de sulfate de zinc a une densité de $1^o,400$ à 15°, celle de sulfate de cuivre étant de $1^o,100$; à chaque fois, le cuivre était recouvert d'un dépôt frais produit par électrolyse. Pour l'élément Gouy, je me suis conformé *strictement* aux indications données par l'auteur (²).

(¹) J.-A. Fleming, *Sur l'emploi de la pile Daniell comme étalon de force électromotrice* (*Philos. Mag.*, 5ᵉ série, t. XX, p. 126; 1885).

(²) Gouy, *Sur une pile étalon* (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 16 mars 1887, et *Journal de Physique*, 2ᵉ série, t. VII, p. 532; 1888).

Pour l'étalon Clark, j'ai adopté la forme en H. Le pôle positif est constitué par du mercure recouvert d'une couche de sulfate mercureux; le pôle négatif, par du mercure sur lequel flotte un morceau de zinc amalgamé.


Fig. 3.



Les divers éléments ont été comparés au moyen du potentiomètre à celui dont la force électromotrice avait été déterminée directement en valeur absolue. Ces expériences m'ont conduit à adopter, pour forces électromotrices en volts *absolus* à 0°, les valeurs suivantes :

L. Clark.	Gouy.	Daniell.
1,4535	1,3928	1,0943

La formule donnée par Lord Rayleigh (¹) pour l'élément

(¹) Lord Rayleigh, *Sur l'équivalent électro-chimique de l'argent, et sur la force électromotrice absolue des éléments de Clark* (*Philos. Trans.*, 1884).

L. Clark conduit à la valeur $1^{volt},4527$. Ce nombre, obtenu en déterminant une résistance en valeur absolue, et en mesurant le courant qui la traverse au moyen d'un électrodynamomètre absolu, ne diffère pas de $\frac{1}{1800}$ du nombre qui résulte de mes propres déterminations faites par une méthode totalement différente.

Étude expérimentale sur l'étincelle électrique;

PAR M. A. BROCA.

On sait, par des expériences anciennes de M. Lodge, que la présence d'une étincelle électrique dans un circuit en modifie profondément les propriétés. Le circuit acquiert la propriété paradoxale de donner des étincelles latérales bien plus longues, quand l'étincelle jaillit que quand elle ne jaillit pas. Une expérience du même ordre a été le point de départ des merveilleuses recherches de Hertz, tant sur les oscillations électriques que sur les actions photo-électriques. Cette propriété est-elle la seule acquise par le circuit, et à quelle cause immédiate peut-on l'attribuer? Ce sont les deux questions que je me suis posées dans le travail actuel.

Je me suis adressé d'abord à l'illumination des tubes à vide par la décharge électrique, et, pour simplifier autant que possible, je les ai mis en contact unipolairement avec une bobine d'induction. Dans ces conditions, leur illumination dépend uniquement de la valeur du potentiel au point où ils sont en contact avec la bobine. Comme les phénomènes d'étincelle latérale pouvaient nous le faire supposer, toutes les fois qu'une étincelle éclate entre les boules de l'excitateur, l'éclat des tubes augmente d'une manière très considérable.

M. Mouton a montré que, sous l'action de l'inducteur, chaque point du circuit secondaire d'une bobine était doué d'un potentiel oscillatoire alternatif, la moyenne étant nulle, tant que le circuit est ouvert.

L'expérience actuelle nous apprend que, au moment où l'étin-

celle jaillit, la valeur maxima du potentiel oscillatoire devient plus grande que lorsque l'étincelle ne jaillit pas.

Les phénomènes précédents sont-ils dus à une sorte de coup de bélier produit dans le fil conducteur par la cessation du flux qui passe par l'étincelle? Cette conception ne concorde guère avec les idées modernes, d'après lesquelles toutes les actions se passent dans le diélectrique. D'ailleurs, si l'idée était exacte, nous aurions là une rupture brusque de l'équilibre du circuit et, dans ces conditions, nous ne pouvons concevoir, dans le circuit secondaire de la bobine, que des oscillations ayant la période propre du circuit. L'étude électrométrique du phénomène va nous montrer que, au moment de l'étincelle, il se produit forcément des oscillations plus rapides que celles qui se produisent à circuit ouvert.

J'ai employé, pour cette étude, un électromètre à une seule paire de quadrants, et à aiguille à terre. La déviation est alors proportionnelle au carré moyen du potentiel. L'instrument a des oscillations énormes; mais, avec de la patience, on arrive à se rendre compte de l'ordre de grandeur des phénomènes. On observe alors que, lorsque les étincelles jaillissent d'une manière bien régulière, le tube unipolaire est bien plus brillant que quand les boules sont écartées sans que les étincelles jaillissent, quoique l'indication de l'électromètre soit beaucoup plus faible. Ceci montre que l'étincelle cause une diminution du carré moyen du potentiel, tout en donnant une élévation considérable du potentiel maximum.

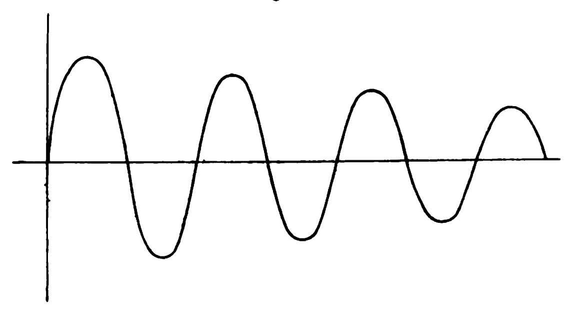
Dans le cas qui nous occupe, à chaque interruption du primaire correspond une onde donnant un potentiel oscillatoire amorti au point étudié et l'amortissement est assez grand pour être complet avant l'excitation suivante. Le potentiel aux bornes peut se représenter par la courbe de la *fig.* 1. On mesure, à l'électromètre, une quantité proportionnelle au carré moyen d'un des trains d'ondes amorties.

Quand l'étincelle jaillira, une partie de l'énergie sera employée dans un flux qui traversera l'étincelle. La vitesse de l'électricité aux bornes augmentant puisqu'elle était nulle primitivement et qu'elle prend une valeur, le potentiel doit diminuer (Poincaré, *Oscillations,* p. 122 et 123).

Donc, le seul fait du passage d'électricité par l'étincelle tend à

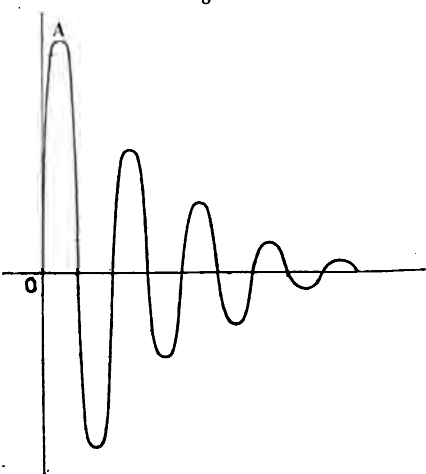
diminuer les ordonnées de la courbe de la *fig.* 1. Or, les tubes nous montrent que le potentiel maximum est beaucoup plus élevé et que son carré moyen est plus faible que sur la *fig.* 1. Donc, nous avons la superposition de la courbe de la *fig.* 1 avec des or-

Fig. 1.



données réduites, et d'une autre courbe représentée *fig.* 2 passant par un point A très élevé, et l'ensemble est tel que le carré moyen du potentiel soit moindre que pour la *fig.* 1. Si la courbe passant

Fig. 2.



par A avait même période que celle de la *fig.* 1, le carré moyen du potentiel serait beaucoup plus élevé que dans la *fig.* 1. Il faut donc, de toute nécessité, que la période de l'ondulation de la *fig.* 2 soit beaucoup moindre, et son amortissement plus ra-

pidement fait que pour la courbe de la *fig.* 1. La différence considérable des éclats des tubes nous fait même prévoir que le point A doit être très élevé, ce qui nécessite, pour que le carré moyen soit assez faible, que l'oscillation soit extrêmement rapide et très puissamment amortie. Il est peut-être suggestif de rapprocher ce dernier point du fait que ces oscillations n'ont pas la période propre du circuit.

Nous sommes donc amenés à penser que, lorsque l'étincelle jaillit, il naît, au point où elle jaillit, des oscillations spéciales, et que celles-ci, plus rapides que l'oscillation propre du circuit, se propagent cependant le long de ses fils.

Avant d'étudier tous les phénomènes produits par l'étincelle, cherchons à quelle espèce d'étincelle ils correspondent.

Nous observons d'abord que, dans une très large limite, le phénomène semble indépendant de la longueur de l'étincelle, qu'il diminue à partir d'un certain moment, pour cesser presque tout à fait quand l'étincelle devient un arc.

De temps en temps, une étincelle jaillit malgré la présence de l'arc, et en dehors de celui-ci; à ce moment, le tube prend un vif éclat. L'électromètre indique une déviation encore très notable, avec une impulsion considérable chaque fois que l'étincelle jaillit. Si maintenant, au lieu de douze accumulateurs, je n'en prends plus que deux, l'arc cesse de jaillir; il est remplacé par des étincelles. Le potentiel monte d'une manière considérable et le tube devient plus brillant; je rapproche alors les boules, les étincelles deviennent plus fréquentes, l'indication de l'électromètre baisse, et le tube est encore très lumineux au moment où l'électromètre a repris la déviation qu'il avait avec l'arc précédent. Cette expérience ne réussit bien qu'avec une très puissante bobine, capable de donner un véritable arc. Elle nous permet de conclure que les phénomènes dont il s'agit sont liés à l'état véritablement disruptif de l'étincelle.

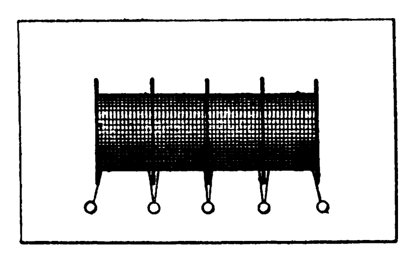
S'il en est ainsi, toutes les causes qui changent un arc en une étincelle disruptive doivent produire les mêmes effets. J'ai vérifié le fait en soufflant l'arc. Un arc très court et soufflé, qui donne la même déviation électrométrique qu'un arc plus long et stable, produit une vive illumination du tube, alors qu'avec l'arc long celui-ci est à peu près sombre.

Quand l'étincelle jaillit dans les diélectriques liquides, huile, pétrole, les phénomènes se produisent. Mais les effets les plus beaux sont produits avec le carton bien sec. Les tubes prennent alors un éclat remarquable, chaque fois que le carton est percé d'un trou. Avec le verre, avec la gélatine, rien de semblable. Je n'ai pas opéré avec du verre réellement isolant, permettant de réaliser l'expérience du perce-verre. Les verres à vitre que j'ai employés, ou bien ne sont pas percés, ou bien, s'ils sont assez minces, sont percés sans aucun effet sensible. Mais l'examen ultérieur montre toujours un très large trou à bords fondus. Il n'y a pas eu rupture brusque du diélectrique, et les phénomènes d'illumination ne se sont pas produits. Nous ne pouvons voir, avec les tubes à vide, que ce qu'il y a de commun à tous ces phénomènes de décharge disruptive. D'autres phénomènes, dont je vais parler tout à l'heure, vont nous montrer, à côté de ces propriétés communes, d'autres propriétés légèrement différentes, qui nous permettront de conclure que ces phénomènes dépendent essentiellement de la nature du diélectrique rompu.

Il semble donc que les oscillations rapides, qui prennent naissance lors de l'étincelle, ont pour origine l'étincelle elle-même. Elles doivent donc s'amortir à partir de l'étincelle, le long des conducteurs.

J'ai employé, comme conducteur, une bobine construite autrefois sur les indications de Foucault (*fig.* 3). Elle a trois cloisons,

Fig. 3.



et les points de réunion des bobines deux à deux présentent des bornes accessibles, ainsi que les deux extrémités de la bobine. On a ainsi cinq bornes et tout est exactement symétrique par rapport à la borne centrale.

Quand cette bobine est excitée par son inducteur, les tubes unipolaires montrent que la borne centrale est toujours à l'état neutre et que les oscillations de potentiel sont d'autant plus accentuées que les points sont plus éloignés du centre. Ceci concorde bien avec les expériences de M. Mouton, qui a montré que les potentiels aux bornes extrêmes des bobines symétriques étaient toujours égaux et de signes contraires.

Si, au lieu d'exciter la bobine par son inducteur, je mets les deux extrémités du secondaire en rapport avec les deux extrémités du secondaire de la grosse bobine, les phénomènes sont identiques.

Si, au contraire, le circuit est ouvert et si la bobine de Foucault est mise unipolairement en contact avec la bobine excitatrice, l'illumination des tubes unipolaires sera d'autant moins belle que le contact sera pris sur une borne plus éloignée de la bobine excitatrice.

Considérons maintenant ce qui se passe quand les deux bobines sont en série par leurs secondaires, et qu'une étincelle jaillit en un point du circuit. Une partie du flux passe par l'étincelle, et la bobine de Foucault est soumise de ce chef à une excitation analogue à celle que nous venons de considérer. Elle devrait donc présenter, comme tout à l'heure, un nœud. Il n'en est rien, et les tubes prennent leur éclat au moment de l'étincelle, d'autant mieux qu'ils sont plus près de celle-ci. Ceci nous permet de conclure, avec sécurité, que c'est bien à l'étincelle que se produisent les oscillations rapides, dont les expériences précédentes nous ont montré l'existence, et que leur action est prépondérante sur celle du flux qui passe par l'étincelle.

Ces expériences réussissent mieux encore avec une machine statique au lieu de la bobine excitatrice.

Cherchons maintenant si quelques faits ne viennent pas fixer nos idées relativement à la fréquence des oscillations qui prennent naissance au moment de l'étincelle électrique.

J'ai essayé d'abord des tubes à pressions diverses ([1]), et j'ai

---

([1]) Tous mes tubes ont été construits par M. Seguy, dont l'habileté m'a été très utile.

remarqué que les différences entre les illuminations des tubes sans étincelle et au moment de l'étincelle étaient d'autant plus grandes que la pression y était plus élevée. J'ai opéré ainsi jusqu'à la pression de 5^{mm} de mercure, pour laquelle le tube prend encore un éclairement notable, au moment où l'étincelle jaillit. Si nous admettons les idées de M. Teslà, la propriété de rendre lumineux les milieux peu raréfiés est caractéristique des oscillations à haute fréquence, au moins pour une énergie déterminée des oscillations.

Les tubes à analyse spectrale ordinaires à électrodes présentent quelques phénomènes particuliers. Quand on les excite unipolairement sur la bobine ouverte, ils sont parcourus par une ligne lumineuse axiale, leurs renflements sont à peu près sombres. Au moment de l'étincelle, les renflements deviennent lumineux, plus du côté négatif que du positif. Avec les oscillations de Teslà, les tubes prennent des aspects analogues, sauf la différence de polarité.

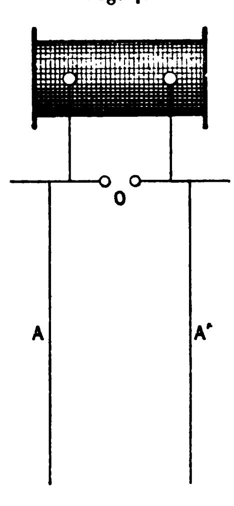
Quand on prend un gros et long tube sans électrodes, on voit, tant que l'étincelle ne jaillit pas, un flux lumineux le remplir près de la bobine, puis se terminer en pointe à l'extrémité libre. Au moment de l'étincelle, le tube devient beaucoup plus lumineux et le flux le remplit complètement jusqu'à l'extrémité. Les stries se resserrent et s'estompent. Si le tube est en communication en un point avec la terre par un corps mauvais conducteur, l'illumination ne dépasse pas ce point, quand l'étincelle ne jaillit pas ; elle va, au contraire, jusqu'au fond du tube au moment de l'étincelle ; l'intensité lumineuse est seulement moindre après le point qui est à terre qu'avant. C'est précisément le phénomène que l'on observe avec les oscillations à haute fréquence de Teslà.

Mais, si les oscillations, dont il est question, sont réellement des oscillations à haute fréquence, elles doivent donner lieu, dans l'air même, autour des fils qui les conduisent, à des aigrettes analogues à celles que l'on obtient dans l'appareil de Teslà, c'est-à-dire que de simples fils mis, en communication unipolaire avec une étincelle assez puissante, doivent se couvrir d'aigrettes. Celles-ci doivent être orientées suivant le vecteur électrique, qui est forcément normal au fil, si les oscillations sont très rapides. Les aigrettes doivent donc être normales au fil, et aucune cause ne

doit pouvoir les faire dévier de cette direction, dans le voisinage immédiat du fil. De plus, si mes idées sont exactes, les aigrettes peuvent dépendre de la nature de l'étincelle et ne doivent pas dépendre de la période propre du circuit où elles se produisent.

C'est ce que l'expérience vérifie. Deux fils de 10^m de long sont mis en communication avec la bobine et soigneusement isolés (*fig.* 4). Entre deux points de ces fils, je place un excitateur.

Fig. 4.



Quand l'étincelle ne jaillit pas, les fils sont un peu lumineux. Au moment où l'étincelle jaillit, les fils deviennent extrêmement brillants et se couvrent d'aigrettes blanches sur toute leur longueur. Leur éclat est d'autant plus grand que l'étincelle est plus disruptive. Quand l'étincelle se transforme en un véritable arc, toute illumination cesse.

J'ai opéré avec divers fils de cuivre, argent et fer, depuis 3^{mm} jusqu'à $\frac{4}{100}$ de millimètre. J'ai eu le plus beau résultat avec le fil de cuivre de $0^{mm},25$.

L'illumination n'a pas les mêmes caractères sur les deux fils. Sur le fil négatif, on voit une série de points incandescents, répartis suivant une loi à peu près régulière, et des aigrettes blanchâtres qui s'échappent de tous les points du fil, mais avec des maxima. Ces points sont à environ 5^{mm} à 10^{mm} l'un de l'autre.

L'effluve, ainsi produite, est donc aussi fournie que celle des appareils de Teslà, mais elle est blanche et non violette. Elle est partout exactement normale au fil. J'ai essayé l'action des diélectriques, des conducteurs, des aimants, des fils positifs et négatifs eux-mêmes sur ces aigrettes. Elles peuvent disparaître, mais quand elles existent, elles sont normales au fil. Sur le fil positif, de grandes aigrettes peu lumineuses s'échappent de points qui se groupent en série de 3 à 5 à peu près équidistants de 8^{cm} à 10^{cm}; le fil devient comme phosphorescent sur toute sa longueur. En s'approchant, on voit que cette lueur semble composée d'une infinité de petites aigrettes extraordinairement resserrées.

Ces deux lueurs ont un caractère commun, c'est d'être beaucoup plus grandes et lumineuses loin de l'étincelle que près de celle-ci, et d'avoir tout le long du fil une variation linéaire. Elles sont indépendantes de la période de l'excitateur formé par les deux fils AA', car elles ne changent pas de place et presque pas d'intensité sur un des fils, quand on introduit un condensateur sur l'autre, ou même qu'on le supprime complètement. Elles ne changent pas de place, mais varient d'intensité, quand l'étincelle varie de nature. Avant et pendant l'étincelle, les effluves varient peu auprès de l'excitateur; elles varient au contraire beaucoup à l'extrémité des fils. La fixité des aigrettes est assez grande pour donner d'excellentes photographies avec dix minutes de pose. On peut ainsi vérifier la rectangularité rigoureuse des aigrettes au fil.

Ces phénomènes se produisent avec les étincelles jaillissant dans les diélectriques liquides. Dans ce cas, les aigrettes sont bien plus serrées. Quand on interpose du carton sec dans l'étincelle, les aigrettes sont plus serrées encore.

Et cependant, si l'on admet les idées reçues, les fils A et A' forment un excitateur de Hertz, et la période doit varier quand on ajoute une forte capacité en A. La période variant, il semblerait que les aigrettes de A' doivent au moins être modifiées. Elles varient de longueurs, mais leurs maxima sont fixes. De plus, la période serait allongée par la présence d'un condensateur en A, et, à égalité d'énergie, le potentiel devrait baisser en A'; au contraire, les aigrettes s'allongent. Elles sont maxima quand le fil A est à terre.

Il semble donc qu'il y a, le long du fil, une onde stationnaire complexe, dont les ventres sont modifiés par les irrégularités du

fil et que ces ondes se groupent elles-mêmes pour donner une grande oscillation générale dans le fil présentant un nœud à l'étincelle, un ventre loin de celle-ci. J'ai vérifié que c'était là une propriété générale de l'étincelle, qu'elle jaillisse entre sphères ou de pointe à plan ou entre deux points. Si je place un excitateur à étincelles sur le trajet du fil unipolaire, il est aussi le siège d'un nœud pour les aigrettes; il y a alors deux ventres sur le conducteur : un à l'extrémité libre, l'autre au milieu de la distance entre les deux excitateurs.

Si l'excitateur est à distance de la bobine et réuni à ses pôles par un fil analogue au précédent, ce fil s'illumine de même avec un nœud à l'étincelle, un ventre à la borne de la bobine.

Si les phénomènes de haute fréquence me semblent indéniables dans le cas qui nous occupe, ils ne sont pas seuls cependant. J'ai, en effet, essayé, par accident, leur action physiologique, et j'ai reçu des secousses extrêmement pénibles. Nous avons donc là des oscillations de haute fréquence, mélangés à d'autres de fréquences plus basses. Les premiers apparaissent au moment de l'étincelle. Il semble donc que les phénomènes de hautes fréquences se présentent comme les phénomènes de diffraction, si difficiles à produire purs, et si gênants comme perturbations de tous les phénomènes optiques.

Enfin, j'ai pu isoler complètement les oscillations rapides, en plaçant un long fil entre deux excitateurs en communication avec la bobine. De la sorte, le fil joue à peu près le rôle d'un excitateur de Lodge. Quand les étincelles sont bien disruptives, il se couvre d'aigrettes analogues à celles des expériences précédentes, et dont la nature varie suivant que les étincelles jaillissent dans l'air, le pétrole ou le carton. L'aspect du fil entier est analogue à celui du fil négatif des expériences précédentes.

Dans ces conditions, on peut toucher le fil A sans sentir d'action notable, et un tube de Teslà, tenu de l'autre main, s'illumine comme sur le tertiaire de l'appareil à hautes fréquences. Cette dernière expérience me semble absolument caractéristique et elle montre que l'étincelle est un lieu de transformation d'énergie où celle-ci se transforme à peu près complètement en oscillations à haute fréquence.

Abordons maintenant les conclusions à tirer de ces expériences. La première est que les calculs relatifs aux expériences de Hertz

ne sont peut-être pas tout à fait complets, et que, à la période propre de l'excitateur, pourraient bien venir se superposer, du fait de l'étincelle, des oscillations plus rapides. Certes, les idées de MM. Poincaré et Bjerkness sur la résonance multiple sont indiscutables, mais peut-être ne doit-on pas rejeter celles de MM. Sarazin et de la Rive, auxquelles les recherches théoriques et expérimentales de MM. Garbasso et Atschkinass sont venues donner un si solide appui. Il n'y a d'ailleurs absolument rien d'incompatible entre les deux théories.

Un deuxième point important est que nous avons vu des oscillations rapides se propager le long des circuits à période plus lente. Un circuit électrique doit donc présenter, en général, plusieurs systèmes stables d'oscillation.

Enfin, nous avons vu que l'étincelle elle-même était le siège de ces oscillations rapides, et que la nature du diélectrique rompu influait sur les effets produits. C'est donc à cette rupture qu'il est permis, au moins au premier abord, d'attribuer les phénomènes. Devons-nous penser que la simple rupture de la matière peut transmettre à l'éther des ondulations aussi énergiques et aussi rapide? Cela est peu probable; il est donc plausible de penser que l'éther lui-même du diélectrique est le siège d'un phénomène disruptif au moment de l'étincelle. Ceci ne cadre guère avec l'idée reçue sur l'impossibilité pour la décharge de traverser les tubes à vide presque parfait de Hittorf. J'ai donc cherché si ceux-ci ne pouvaient pas, avec une énergie suffisante, donner une véritable étincelle. L'expérience a donné raison à mes prévisions. Un tube de Hittorff à grosses électrodes, qui n'est le siège d'aucun phénomène avec une bobine de 5^{cm} d'étincelle, donne une étincelle de $\frac{1}{2}$ millimètre de long entre ses deux pointes de platine, quand on emploie une énergie suffisante.

Je n'ai pas la prétention de donner ma dernière conclusion comme certaine. Je dirai seulement pour ma défense que l'idée de la rupture possible de l'éther n'a pas répugné à de bons esprits. Lord Kelvin l'a émise. En tous cas, elle présente, dans ce cas particulier, l'avantage de donner une explication unique de tous les faits expérimentaux dont il vient d'être question.

SÉANCE DU 15 NOVEMBRE 1895.

PRÉSIDENCE DE M. CAILLETET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 19 juillet est lu et adopté.

M. le PRÉSIDENT annonce les pertes regrettables que la Société a faites pendant les vacances, dans les personnes de M. *Lutz*, constructeur d'appareils d'optique, et M. *Mouton*, ancien secrétaire de la Société en 1878.

M. BOUTY rappelle en ces termes les travaux scientifiques de M. Mouton :

« M. Mouton avait débuté en 1876 par un remarquable travail sur les oscillations des circuits induits ouverts. A l'aide d'appareils très ingénieux il mesurait la différence de potentiel aux bouts du fil induit d'une bobine de Ruhmkorff, un temps plus ou moins long après la rupture du circuit principal, et il reconnut qu'elle oscille régulièrement avec une période de l'ordre du dix-millième ou du cent-millième de seconde. On sait toute l'importance qu'a acquise depuis lors l'étude des oscillations électriques; M. Mouton a été à peu près le seul à s'en occuper en France antérieurement aux découvertes de Herz.

» M. Mouton a publié plus tard (1876-79) d'importantes recherches sur le spectre infra-rouge. Il a indiqué une méthode élégante et facile pour la mesure des grandes longueurs d'onde, fréquemment employée depuis; étudié la réflexion métallique des rayons calorifiques, la dispersion de double réfraction du quartz, enfin indiqué le premier que le maximum de chaleur dans le spectre solaire normal se trouve au voisinage de la raie D et que l'énergie du spectre ultra-violet n'est pas une fraction négligeable de l'énergie totale. Ces derniers et importants résultats ont été confirmés depuis par M. Langley, qui avait à sa disposition les magnifiques réseaux de Rowland et le bolomètre, tandis que M. Mouton les avait déduits de l'étude attentive de la dispersion, combinée avec des mesures de longueurs d'onde.

» Ancien maître de conférences à la Sorbonne, ancien secrétaire de la Société, M. Mouton était éloigné de nos séances par la maladie depuis près de quinze ans; mais il continuait à s'intéresser aux progrès de la Physique et à tous nos travaux. Ce fut une grande joie pour lui quand la Société le nomma membre du Conseil; il fut très sensible à cet hommage rendu à son caractère et à sa carrière scientifique si courte et si brillante. »

M. le SECRÉTAIRE GÉNÉRAL annonce l'envoi de deux Notes de M. DELAURIER, intitulées : 1° Théorie et expériences sur la différence de production d'électricité dans les piles à un ou deux liquides; 2° Pile sans liquide donnant plus d'électricité que la pile Daniell.

M. Bandsept adresse à la Société une Notice sur un nouveau système de brûleurs au gaz. Dans ces appareils on obtient un mélange tout à fait intime des corps qui vont dégager de la chaleur par leur combinaison chimique, soit au moyen de l'agitation produite par de petits moulinets, soit en obligeant le gaz à circuler à travers une série d'obstacles. Les résultats obtenus sont excellents : on fond facilement des tiges de cuivre avec le gaz ordinaire à la pression de la ville; on porte un capuchon genre Auer en pleine incandescence, avec une consommation de gaz réduite de 50 pour 100.

M. Violle rend compte des expériences qu'il a faites à Argenteuil avec M. Vautier, sur la propagation du son à l'intérieur d'une conduite de 3^m de diamètre et près de 3^{km} de longueur, gracieusement mise à leur disposition par MM. les ingénieurs de la Ville de Paris. Différentes méthodes ont été employées qui ont fourni un grand nombre de tracés et de photographies dont le dépouillement n'est pas encore terminé. Il ne décrira aujourd'hui que les résultats obtenus avec la seule aide de l'oreille, qui constitue d'ailleurs le plus parfait de nos sens.

Le premier fait constaté, qui contraste singulièrement avec l'un des résultats des expériences antérieures de Grenoble, est la conservation des qualités acoustiques du son à de grandes distances, ou la *portée* du son. Le son d'une flûte d'orgue de 16 pieds ($32^{v.d.}$) s'entend encore nettement au bout d'un trajet de 23^{km} compliqué de 7 réflexions. La portée est d'ailleurs variable avec la hauteur du son : elle diminue à mesure que le son s'élève : le dernier son qui, émis à l'une des extrémités du tuyau, revienne au point de départ après réflexion à l'autre extrémité, en d'autres termes le dernier son, qui subsiste franchement comme son après un parcours de 6^{km} avec une réflexion, est l'ut_4 ($522^{v.d.}$) de la trompette ou du piston; le mi_4 ($652^{v.d.}$,5) des mêmes instruments revient encore mais plutôt comme un bruit que comme un son; les sons plus élevés ne sont pas perceptibles. En se bornant au seul trajet direct, on trouve que le fa_6 ($2780^{v.d.}$) de la petite flûte perd tout caractère musical au bout de 3000^m, le $la_6^\flat$ ($3340^{v.d.}$) au bout de 2600^m, le $ré_6^\flat$ ($4450^{v.d.}$) au bout de 1800^m; 200^m plus loin ils n'existent plus.

Un second fait très frappant est le caractère musical spécial que le son acquiert après un certain parcours et qui permet à l'oreille d'en percevoir aisément les éléments. Si par exemple le son produit à l'une des extrémités de la conduite est l'ut_1 donné par un gros cuivre, au retour on entendra d'abord la note fondamentale, puis un certain nombre d'harmoniques se succédant à intervalles courts, mais distincts, du plus élevé au plus grave : avec le sarrussophone on observe, outre le son 1, les harmoniques 6, 5, 4, 3. L'instrument a, comme de raison, une influence très marquée : les sons voilés des flûtes de grand orgue reviennent seuls, tandis que les sons bien timbrés des cuivres ou du violoncelle arrivent avec un puissant cortège d'harmoniques. Le nombre des harmoniques perceptibles

fournis par un même instrument décroît d'ailleurs à mesure que la note émise est plus élevée, à tel point que ce sont les notes graves qui font revenir avec elles les sons les plus aigus : le sol_4 ($783^{v.d.}$), qui ne revient pas comme son fondamental émis par la trompette, se fait entendre comme 6ᵉ harmonique de l'ut_2 ou comme 5ᵉ du mi_2 produits par une basse.

La destruction d'un son doit en effet être d'autant plus rapide qu'il est plus aigu et plus intense. Un chuchotement grave se perçoit très bien. Les signaux acoustiques doivent se faire sur des notes basses. L'oreille seule ne permet pas de reconnaître directement s'il y a une différence de vitesse entre les sons graves et les sons aigus, cette différence étant très faible : des batteries rapides ne paraissent pas altérées. Mais l'analyse effectuée par le tuyau semble bien indiquer que les sons aigus vont un peu plus vite que les sons graves, conclusion confirmée par le fait de l'extinction rapide des sons aigus : on sait que plus grand est le coefficient d'extinction, moindre est le retard dans la propagation du son.

M. Lamotte expose les *expériences de* M. Lebedew *sur la double réfraction des ondes électriques.* — L'excitateur de M. Lebedew est construit sur le modèle de ceux de M. Righi, mais présente des dimensions extrêmement réduites. Les conducteurs, entre lesquels jaillit l'étincelle qui donne naissance aux ondes, sont des morceaux de fil de platine : leur longueur est seulement $1^{mm},3$ et leur diamètre $0^{mm},5$; la longueur de l'étincelle est environ $0^{mm},02$. Les deux conducteurs sont disposés sur la ligne focale d'un miroir cylindrique circulaire (hauteur 20^{mm}, ouverture 12^{mm}, distance focale 6^{mm}). Tout l'appareil est plongé dans le pétrole et excité par une bobine d'induction.

La méthode d'observation est la méthode thermo-électrique de Klemencic; le résonateur rectiligne est formé de deux moitiés identiques; chacune d'elles est reliée, en son milieu, à un galvanomètre sensible; ces points milieux étant des nœuds de vibration, la présence des fils de jonction ne modifie pas la période du résonateur; aux extrémités en regard des deux moitiés sont soudés de petits anneaux de fil très fin (diamètre des anneaux $0^{mm},3$, diamètre des fils $0^{mm},01$), l'un de fer, l'autre de constantan, s'enlaçant l'un dans l'autre de manière à former un élément thermo-électrique. Sous l'influence des courants traversant le résonateur, cette soudure s'échauffe et la force électromotrice produite engendre un courant qui dévie le galvanomètre. Le résonateur est aussi muni d'un miroir cylindrique et placé sur la ligne focale.

M. Lebedew a pu reproduire ainsi les diverses expériences faites avant lui : réflexion, réfraction, interférence, etc. Bien plus, il est parvenu à démontrer l'existence de la double réfraction dans le soufre naturel; l'indice, pour une vibration parallèle à l'axe D_M suivant lequel la constante diélectrique est maxima, est 2,25; pour une vibration parallèle à l'axe D_m suivant lequel la constante est minima, l'indice est 2,0. En comparant ces nombres aux racines carrées des constantes diélectriques déterminées par

M. Boltzmann, on trouve une vérification satisfaisante de la loi de Maxwell.

En coupant un parallélépipède de soufre, dont les arêtes sont respectivement parallèles aux axes diélectriques, par un plan passant par D_M et faisant avec D_m un angle de 50°, puis rassemblant les deux moitiés après avoir interposé une lame d'ébonite, on forme un système qui fonctionne d'une manière analogue au nicol. A la vérité, ce nicol donne non pas une extinction complète, mais seulement un minimum très accusé.

Enfin, une lame de soufre, d'épaisseur convenable et taillée parallèlement au plan ($D_M D_m$), forme une lame $\frac{1}{4}$ d'onde permettant de réaliser les expériences de polarisation elliptique et circulaire. Les lames cristallines plus épaisses ne donnent rien, par suite de l'amortissement trop considérable des vibrations.

Sur la propagation du son dans un tuyau cylindrique (¹);

Par MM. J. Violle et Th. Vautier.

Nous avons récemment fait des expériences sur la propagation du son dans la conduite que la Ville de Paris vient de construire entre Clichy et Achères pour l'adduction des eaux d'égout et qui avait été très obligeamment mise à notre disposition par M. Bechmann. La portion que nous avons utilisée forme un tuyau cylindrique de 3^m de diamètre et près de 3^{km} de longueur, s'étendant en ligne droite, d'Argenteuil à Cormeilles. Ce tuyau était fermé à chaque bout par une cloison percée d'ouvertures nécessaires pour recevoir les appareils et pour pénétrer à l'intérieur de la conduite.

Les expériences ont été conduites suivant différentes méthodes et ont fourni de nombreux tracés et clichés dont le dépouillement demandera un certain temps; mais nous pouvons, dès maintenant, résumer les faits que nous avons constatés à l'aide seule de l'oreille, relativement à la propagation des sons émis par des instruments de musique (²), de l'ut_{-1} au $ré\flat_7$. M. Parès, chef de musique de la Garde républicaine, et ses artistes, M. Couesnon,

(¹) *Comptes rendus*, 24 juin et 1er juillet 1895.

(²) Instruments à vent (flûtes de grand orgue, sarrussophones, hélicon, contrebasse, basse, piston, trompettes chromatiques, grandes et petites flûtes d'orchestre, sifflets); violoncelle; cloche, gongs.

le facteur d'instruments bien connu, et plusieurs membres de l'Harmonie d'Argenteuil, nous ont prêté leur concours pour la production des sons.

Un premier fait remarquable, qui contraste singulièrement avec l'un des résultats de nos expériences de Grenoble (1), est la conservation des qualités acoustiques du son à de grandes distances, en un mot la *portée* du son. Tandis qu'à Grenoble, dans la conduite de $0^m,70$ de diamètre un son musical intense, celui, par exemple, d'une grande flûte d'orgue de 16 pieds, cessait d'être perceptible à l'oreille peu au delà de 6^{km}, mais se manifestait encore sous la forme de la poussée après un parcours de 25^{km} avec une réflexion; à Argenteuil, dans la conduite de 3^m de diamètre, le même son, presque immédiatement insensible comme poussée, s'entend encore nettement au bout d'un trajet de plus de 23^{km} compliqué de sept réflexions. L'importance de ce fait ressortira mieux encore par les rapprochements que nous aurons l'occasion d'en faire avec d'autres phénomènes non moins nets.

Un second fait très frappant est le caractère musical spécial que le son acquiert après un certain parcours. Qu'un instrumentiste lance une note dans la conduite à Argenteuil, le son s'enfuit vers Cormeilles (parcours AC), se réfléchit, revient à Argenteuil, où l'on entend d'abord la note fondamentale émise, puis un certain nombre d'harmoniques de cette note qui se succèdent à des intervalles courts, mais distincts, de l'harmonique le plus élevé au plus grave (2). Ces sons, réfléchis sur la cloison d'Argenteuil, repartent effectuer le parcours 2AC; mais les harmoniques s'éteignent en route, et le ton fondamental revient seul à Argenteuil, où en l'entendra encore, après une ou deux nouvelles courses, de plus en plus affaibli. Si, par exemple, le son initial est l'ut_1 donné par un des gros cuivres, on a, en inscrivant les harmoniques dans l'ordre où on les entend :

---

(1) Voir *Journ. de Phys.*, 2e série, t. I, p. 476. — *Ann. de Chim. et de Phys.*, 6e série, t. XIX, p. 306; 1890.

(2) Nous ne parlons pas de la fusée sifflante qui accompagne certains sons et qui trahit surtout une émission imparfaite.

Ton fondamental émis à Argenteuil.	Sons entendus à Argenteuil après des parcours.						
	2 AC.					4 AC.	6 AC.
ut_1.	ut_1.	sol_3.	mi_3.	ut_3.	sol_2.	ut_1.	ut_1.
1	1	6	5	4	3	1	1

Les harmoniques supérieurs sont à peu près équidistants, les plus graves paraissent plus espacés.

La séparation ne commence à être sensible qu'après un parcours de près de 1^{km}, et elle s'accuse d'autant plus que la distance est plus grande, tant que l'intensité reste suffisante. Ainsi une note étant émise dans la conduite, à 1500^{m} de l'origine, l'observateur situé à Argenteuil entend d'abord le son fondamental et ses harmoniques, puis, quelques secondes plus tard, le son fondamental, retour de Cormeilles, et ses harmoniques plus espacés entre eux que ceux du premier groupe.

Le Tableau suivant, où l'on a laissé le son 1, donne quelques-uns des résultats obtenus avec différents instruments à vent et avec le violoncelle.

Contrebasse.		Basse en *ut*.		Flûtes de grand orgue.	
la_{-1}....	8, 6, 5, 4, 3	sol_1.....	6, 5, 4, 3, 2	ut_{-1}.......	0
$ut_\flat$.....	6, 5, 4, 3	ut_2.....	6, 5, 4, 3, 2	ut_1.........	0
$mi_\flat$.....	5, 4, 3	mi_2.....	5, 4, 3, 2	ut_2........	0
fa_1.....	5, 4, 3, 2	fa_2.....	4, 3, 2	»	»
ut_2.....	3, 2	la_2.....	3, 2	»	»
fa_2.....	2	$ré_3$.....	2	»	»

Violoncelle.		Trompette en *fa*.		Piston en $si_\flat$.	
ut_1.....	8, 6, 5, 4, 3, 2	sol_2........... ..	3, 2	la_2......	3, 2
ut_2.....	4, 3, 2	ut_3..............	2	$ré_3$......	2
fa_2.....	3, 2	sol_3.............	0	sol_3.....	0
ut_3.....	2	»	»	»	»

L'influence de l'instrument est manifeste : les sons voilés des flûtes de grand orgue reviennent seuls, tandis que les sons bien timbrés des cuivres ou du violoncelle arrivent avec un puissant cortège d'harmoniques.

Le nombre des harmoniques perceptibles fournis par un même instrument décroît d'ailleurs à mesure que la note émise est plus

élevée. La trompette et le piston cessent d'en fournir, à partir du *sol*$_3$, bien avant que l'on soit arrivé à la limite aiguë de leur échelle. Les basses font revenir de nombreux harmoniques dans lesquels on entend jusqu'au *sol*$_4$ inclusivement. C'est la note la plus élevée qui, dans nos expériences, ait franchi le parcours 2 AC ou 6^{km}.

Si nous revenons aux sons fondamentaux, nous trouvons qu'ils présentent des différences considérables quant à la longueur du trajet au bout duquel ils cessent d'être perceptibles à l'oreille. La grande flûte de 16 pieds (*ut*$_{-1}$) donne quatre retours; les flûtes de 8 pieds (*ut*$_1$) et de 4 pied (*ut*$_2$), les cuivres du registre grave, n'en offrent plus que trois dans leurs notes basses (de *mi*$_{-1}$ à *ut*$_1$) et deux dans leurs notes élevées (de *sol*$_1$ à *sol*$_2$); les cuivres du registre moyen, trompettes en *ut* et en *fa*, piston en *si*$_\flat$, fournissent un retour de *sol*$_2$ à *mi*$_4$ et rien au delà. Les sons élevés de la petite flûte d'orchestre *fa*$_6$ *la*$^\flat_6$, *ré*$^\flat_7$ deviennent rapidement mauvais; quand ils ont parcouru respectivement 3000^m, 2600^m, 1800^m, l'oreille ne perçoit plus qu'un bruit sans caractère musical, qui s'éteint lui-même 200^m plus loin. Ainsi, le son le plus grave que nous ayons employé, *ut*$_{-1}$ de 32 vibrations doubles, portait à 23^{km} (avec sept réflexions), et le plus aigu, *ré*$^\flat_7$ de 4450 vibrations doubles, à 1800^m (sans réflexion). La portée des sons fournis par les instruments usuels diminue donc notablement des notes graves aux notes élevées.

La netteté de l'émission a d'ailleurs dans toute l'étendue de l'échelle une influence évidente. Dans tous les cas, l'altération du timbre précède l'extinction du son. Au retour, l'*ut*$_4$ est encore franchement musical, le *mi*$_4$ est déjà moins un son qu'un bruit.

Si nous comparons la portée des sons fondamentaux à celle des harmoniques, nous serons frappés de cette circonstance que le *fa*$_4$ et le *sol*$_4$, qui ne reviennent pas en sons fondamentaux, reviennent en harmoniques. Combien cependant le *sol*$_4$, par exemple, quand il constitue le sixième harmonique de l'*ut*$_2$ émis par la basse en *ut* ou l'hélicon, sonne moins énergiquement au départ que lorsqu'il est lancé directement comme ton fondamental par la trompette ou le piston! Par contre, comme nous l'avons déjà remarqué, le son fondamental des grandes flûtes d'orgue, qui revient trois et quatre fois, ne ramène avec lui aucun harmo-

nique. Et toutefois, au moins pour la flûte de 16 pieds, l'octave paraît avoir, au départ, une intensité comparable à celle du son fondamental et très supérieure à celles d'harmoniques, tels que ceux du violoncelle, qui reviennent aussi très franchement.

Bien que nous laissions momentanément de côté tout ce qui se rapporte aux ondes isolées, nous indiquerons cependant encore l'expérience suivante, parce qu'elle est très instructive sous son apparence paradoxale. Si l'on enflamme à l'entrée de la conduite, du côté d'Argenteuil, un mélange de magnésium et de chlorate de potasse, poudre-éclair des photographes, il se produit un bruit fusant sourd, et l'on est un peu surpris d'entendre revenir de Cormeilles, quelques dix-sept secondes après, une explosion énergique et donnant lieu à plusieurs retours, comme un coup de pistolet, le front de l'onde s'étant rapidement dressé.

Dans l'étude nécessairement très incomplète, que nous venons de faire à l'aide seule de l'oreille, il importe d'abord de remarquer que la perception auditive suppose une certaine amplitude des vibrations de l'air, amplitude d'ailleurs très faible (inférieure à un millième de micron). En second lieu, il faut que le mouvement ait conservé sa périodicité. Or, nous avons vu qu'à partir d'un certain trajet un train d'ondes perd son caractère musical. La destruction, ainsi qu'on pouvait le prévoir, est d'autant plus rapide que le son est aigu et plus intense. Si cette destruction paraît due, en général, à l'évanouissement des ondes périodiques qui sillonnent l'intumescence générale, on conçoit qu'elle pourrait aussi résulter d'un déferlement amené par un redressement de plus en plus marqué du front de l'onde : comme devant la vague qui déferle, se formerait une mousse dans laquelle resterait un effet général sans période, mais offrant encore un maximum. L'oreille seule ne suffit pas pour nous renseigner sur ce point.

Si nous portons notre attention sur le phénomène régulier dont nous avons signalé la longue durée pour la plupart des sons à l'intérieur de la conduite d'Argenteuil, nous devons considérer les deux mêmes circonstances : intensité et tonalité. Mais l'intensité physiologique des sons musicaux usuels est peu différente (¹); l'influence de la tonalité est donc manifeste : un son aigu s'éteint

(¹) VIOLLE, *Cours de Physique*, t. II, 1, p. 289; 1889.

plus vite qu'un son grave. De ce fait, rapproché de la relation établie par M. Boussinesq ([1]) entre le coefficient d'extinction et le ralentissement, il résulterait que les sons aigus vont un peu plus vite que les sons graves. L'oreille seule est impuissante à constater la chose : des batteries rapides exécutées à l'origine du tuyau (sur des notes ne différant pas toutefois de plus d'une octave et demie) n'ont pas présenté au retour la moindre différence de rythme, appréciable à l'oreille. Les relevés des graphiques et clichés pourront seuls donner une réponse exacte. Nous devons, toutefois, remarquer que, dans l'analyse d'un timbre musical par le tuyau, les sons se succèdent dans l'ordre voulu : après le ton fondamental, qui doit, en effet, revenir seul en avant, par simple raison ici d'intensité, ce sont les harmoniques les plus élevés qui apparaissent les premiers.

Expériences de M. P. Lebedew sur la double réfraction des rayons de force électrique;

Par M. E. Bouty.

On sait que M. Lodge ([2]) et, plus récemment, M. Righi ([3]) ont répété les expériences de Hertz en y introduisant des modifications qui permettent de réduire beaucoup la longueur d'onde des radiations électromagnétiques. M. Lebedew est allé beaucoup plus loin dans cette voie : il parvient à expérimenter avec des longueurs d'onde de 6^{mm} seulement. Il convient d'indiquer, avec quelque détail, la disposition des appareils employés et les résultats consignés dans son important Mémoire.

I. Appareil. — Le dispositif est conforme à celui que Hertz a rendu classique. Les oscillations sont produites sur la ligne focale d'un miroir cylindrique; sur la ligne focale d'un miroir cylindrique récepteur, sont placés deux résonateurs rectilignes qui

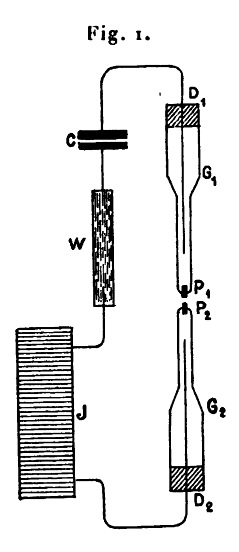
---

([1]) Boussinesq, *Journ. de Phys.*, 2e série, t. X, p. 301; 1891.
([2]) O. Lodge, *Nature*, t. XLI, p. 462; 1890.
([3]) A. Righi, *Memoria di Acc. di Bologna*, 5e série, t. IV, p. 487; 1894.

sont excités par les ondes électromagnétiques; mais toutes les dimensions linéaires de l'appareil sont réduites au centième, ce qui entraîne bien des modifications. Le primaire est de la forme imaginée par Righi et l'excitation du résonateur est mesurée non d'après l'étincelle secondaire qu'il fournit, mais grâce à un dispositif thermoélectrique dû à M. Klemenčič.

Le primaire est représenté en vraie grandeur dans la *fig.* 1. Il est formé de deux cylindres de platine P_1, P_2 de $1^{mm},3$ de long et de $0^{mm},5$ de diamètre soudés dans des tubes de verre G_1 et G_2. Ces cylindres sont excités par l'intermédiaire des fils D_1 et D_2 en communication, par le condensateur C et la résistance liquide W, avec les bornes d'une bobine d'inductions. Le primaire ainsi con-

Fig. 1.

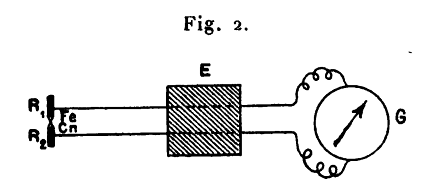


stitué est placé sur la ligne focale d'un miroir cylindrique de 6^{mm} de longueur focale (hauteur 20^{mm}, ouverture 12^{mm}). Tout le système, miroir et primaire, est immergé dans un bain de pétrole; une fenêtre de mica livre passage aux ondes. Enfin, une vis de réglage permet de donner à l'étincelle primaire la longueur convenable, environ $0^{mm},02$.

La *fig.* 2 montre, aussi en vraie grandeur, le système des résonateurs rectilignes R_1, R_2. Ils sont placés sur la ligne focale d'un miroir cylindrique de $1^{mm},4$ de longueur focale (20^{mm} de

haut, 12^{mm} d'ouverture). Aux extrémités en regard des résonateurs, sont soudés des fils de fer et de constantan d'environ 0^{mm},01 de diamètre, qui forment deux boucles de 0^{mm},3 repliées sur elles-mêmes. Au milieu de chacun des résonateurs, c'est-à-dire au nœud correspondant à ses vibrations propres, est soudé un fil conducteur formant ressort et fixé dans une plaque d'ébo-

Fig. 2.



nite E. Quand les résonateurs sont excités, ils se déchargent partiellement à chaque vibration à travers les fils de l'élément thermoélectrique; leur échauffement est rendu sensible par un galvanomètre très sensible, dont on mesure la première impulsion. Une division de l'échelle correspond à un courant de 6.10^{-9} ampères, pour une résistance extérieure de 0^{ohm},62. Le miroir secondaire, les résonateurs et l'élément thermoélectrique sont enfermés dans une enveloppe protectrice munie d'une fenêtre en mica.

Les deux miroirs sont montés sur un goniomètre, à la distance de 10^{cm}, qui, avec les dimensions réduites de l'appareil, correspond à la distance de 10^{m} employée par Hertz. Dans cette condition les déviations du galvanomètre peuvent atteindre 20 à 30 divisions de l'échelle.

II. Expériences fondamentales de Hertz. — *a. Polarisation.* — M. Lebedew emploie un réseau carré de 2^{cm} de côté, formé de 20 fils fins; suivant que les fils sont parallèles au primaire ou en croix avec lui, on observe les phénomènes déjà décrits par Hertz. La différence des deux impulsions du galvanomètre ne peut être due qu'aux oscillations transmises ou interceptées par le réseau.

b. Interférences. — On obtient sans difficulté à l'aide de deux miroirs plans, suivant la méthode indiquée par Boltzmann (¹), la longueur d'onde des oscillations employées. Le premier maximum,

correspondant à une différence de marche nulle, est suivi d'un minimum bien net pour une différence de marche de 2^{mm} à 3^{mm}, puis d'un faible maximum vers 5^{mm} à 6^{mm}; pour de plus grandes différences de marche on n'observe plus ni maximum, ni minimum, ce qui prouve que les oscillations sont très rapidement amorties. Ces expériences fixent la longueur d'onde à environ 6^{mm}, ce qui correspond bien aux dimensions de l'appareil.

c. Propagation rectiligne. — On constate sans peine la transparence des diélectriques comme l'ébonite, le mica, le verre et l'opacité des métaux. Les déviations galvanométriques, quand on éloigne les deux miroirs, décroissent un peu plus rapidement qu'en raison inverse de la distance. Les expériences permettent de fixer à 3° près la direction de propagation.

d. Réflexion. — Un miroir métallique de 2^{cm} de côté suffit pour ces expériences.

e. Réfraction. — Il suffit d'employer un prisme d'ébonite de $1^{cm},8$ de haut et de $1^{cm},2$ de large, du poids de 2^{gr}. Le prisme employé par Hertz pesait 600^{kg}.

Le prisme était placé à 3^{cm} du miroir primaire et à 7^{cm} du miroir secondaire. La position du maximum peut être fixée à 3° près, et l'on trouve pour l'indice de l'ébonite $n = 1,6$. La racine carrée de la constante diélectrique mesurée par divers auteurs est comprise entre 1,4 et 1,8.

III. Double réfraction. — Parmi toutes les substances cristallines essayées, c'est le soufre rhombique naturel qui s'est montré le mieux approprié à l'étude de la double réfraction, tant par ses propriétés isolantes que par la grandeur de la séparation qu'il produit.

a. Déviation prismatique. — De deux cristaux à peu près identiques, on a extrait deux prismes de $1^{cm},8$ de hauteur et $1^{cm},3$ de large et dont l'angle réfringent est de 25°. L'arête réfringente du premier prisme était parallèle à l'axe de plus grande, celle du second à l'axe de plus petite élasticité diélectrique; les indices,

(1) Boltzmann, *Wied. Ann.*, t. XL, p. 399; 1890.

pour des vibrations parallèles à l'arête, sont

$$n_1 = 2,25,$$
$$n_2 = 2,00,$$

le troisième chiffre n'étant donné qu'à titre d'indication. Les racines carrées des constantes diélectriques mesurées par Boltzmann sont

$$\sqrt{D_1} = 2,18,$$
$$\sqrt{D_3} = 1,95.$$

b. Prisme de Nicol. — Ces indices permettent de calculer l'angle de réflexion totale sur l'ébonite correspondant à l'indice *moyen* du soufre et, par suite, de construire un *nicol à oscillations électriques*. Un parallélépipède de soufre dont les arêtes sont parallèles aux axes diélectriques et dont les dimensions sont 2^{cm}, $1^{cm},8$ et $1^{cm},2$ est partagé suivant un plan qui contient l'axe D_1 et fait avec l'axe D_3 un angle de 50°; entre les deux morceaux on interpose une plaque d'ébonite de $1^{mm},8$ d'épaisseur.

Un rayon incident qui se propage suivant D_2 se dédouble dans ce prisme en deux composantes vibrant parallèlement à D_1 et à D_3 et la première seule éprouve la réflexion totale.

Par exemple, si les deux miroirs sont parallèles, on peut éteindre (¹) la vibration en plaçant D_1 parallèlement à la vibration électrique; mais, si l'on tourne le prisme de 90°, on a aussitôt une forte déviation galvanométrique. Quand les deux miroirs sont croisés, il n'y a pas de déviation si la section principale du nicol est parallèle à l'axe des miroirs, mais si l'on tourne le prisme de 45° on observe une déviation du galvanomètre.

c. Plaques quart d'onde. — On obtient une plaque quart d'onde en taillant dans un cristal de soufre une plaque carrée de 6^{mm} d'épaisseur dont le plan est parallèle à D_1 et à D_3. Si l'on interpose cette plaque entre les miroirs croisés, on n'obtient pas de déviation galvanométrique quand les axes sont parallèles aux miroirs; mais, si l'on tourne la plaque de 45°, la vibration est polarisée circulairement et le galvanomètre dévie.

(¹) Pratiquement la déviation galvanométrique n'est pas annulée, mais réduite environ au $\frac{1}{5}$ de sa valeur.

SÉANCE DU 6 DÉCEMBRE 1895.

PRÉSIDENCE DE M. CAILLETET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 15 novembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. le Prince BORIS GALITZINE, Membre de l'Académie Impériale des Sciences de Saint-Pétersbourg.
HÉMOT (A.), Constructeur d'instruments de précision, à Paris.
MAMY (J.), Professeur au Lycée de Poitiers.
PRETORIANO (Marin), Professeur à l'Ecole militaire de Craïova (Roumanie).

M. G. TROUVÉ fait une Communication sur des appareils réalisant une *solution pratique de l'éclairage domestique portatif et général par l'acétylène.* En utilisant l'attaque, par l'eau, du carbure de calcium tel que l'industrie le fournit aujourd'hui, on peut, on le sait, obtenir un dégagement régulier d'acétylène pur. Deux procédés se présentent pour l'utilisation pratique des propriétés remarquables de ce gaz au point de vue de l'éclairage. On peut obtenir des lampes fonctionnant individuellement par un dispositif semblable à celui du briquet de Gay-Lussac. A cet effet, on submerge dans l'eau un récipient contenant le carbure, qui doit être poreux, disposé en couches séparées par des rondelles de verre; le gaz produit s'échappe par un tube muni d'un robinet. Tant que dure l'utilisation, l'eau reste en contact avec le carbure, mais dès que l'on ferme le robinet d'écoulement le gaz produit s'accumule dans la cloche et oblige l'eau à redescendre au-dessous du carbure. M. Trouvé est parvenu à obtenir une régularisation parfaite et automatique, d'une part en fermant par le bas la cloche renfermant le carbure et ne laissant pénétrer l'eau que par une ouverture percée dans le fond; d'autre part, en évitant l'influence fâcheuse de l'eau provenant de la condensation au moyen d'un dispositif spécial du tuyau d'écoulement. Le second procédé consiste à employer un gazomètre qui distribuera le gaz dans les appareils d'éclairage; le gazomètre présenté par l'auteur fonctionne dans des conditions parfaites, et un dispositif électrique avertit, par une sonnerie, que l'appareil est ou trop plein, ou au contraire sur le point d'être épuisé.

M. DUCRETET annonce qu'il présentera prochainement à la Société des appareils d'éclairage par l'acétylène, fonctionnant d'une façon rigoureusement automatique quelle que soit la pression de l'acétylène, le gaz fût-il même au voisinage de son point de liquéfaction, et quel que soit le carbure de calcium livré par le commerce.

M. d'Arsonval expose devant la Société les expériences récentes qu'il vient de faire sur la décharge électrique de la torpille à son laboratoire de Concarneau. Il a étudié l'organe électrique surtout au point de vue de l'énergie et de la forme de la décharge. Il a employé pour cela un appareil inscripteur composé d'une bobine mobile dans un champ magnétique annulaire. Cette bobine, très légère, est fixée au centre d'un tambour à air communiquant avec un tambour à levier inscripteur de Marey déjà décrit par l'auteur en 1891 pour d'autres recherches.

La décharge volontaire de l'animal se compose d'une série de 8 à 10 flux se succédant à environ $\frac{1}{100}$ de seconde, toujours dans le même sens; le dos de l'animal représente le pôle positif et le ventre le pôle négatif. La forme générale de la courbe est tout à fait semblable à celle de la contraction musculaire. Si l'on excite le bout périphérique du nerf électrique sectionné on n'obtient qu'un seul flux pour chaque excitation séparée. L'intensité du flux est sensiblement proportionnelle à l'intensité de l'excitation comme pour la secousse musculaire. La forme de ce flux est sensiblement celle de la secousse musculaire. L'élévation de la température diminue la durée du flux comme elle le fait pour la secousse musculaire, le froid agit en sens inverse.

L'énergie de la décharge est considérable. Sur une torpille de taille moyenne elle a pu atteindre 10 ampères sous 25 volts et allumer au blanc une série de lampes à incandescence, en rapport avec l'organe électrique. A circuit ouvert la force électromotrice de l'organe, au moment de la décharge volontaire, peut dépasser 200 volts. Les deux organes électriques fonctionnent simultanément comme le montre l'allumage de deux lampes dont les circuits sont séparément en rapport avec chacun des organes.

Après 3 ou 4 décharges l'organe est momentanément épuisé; mais pour cela il faut que le circuit soit fermé. Si on laisse un des organes à circuit ouvert, cet organe n'est nullement épuisé après la décharge; donc l'épuisement n'est pas le fait de la fatigue du système nerveux, et la charge électrique n'a pas sa source dans ce système, mais bien dans l'organe lui-même. D'ailleurs on ne constate, au repos, aucune différence de potentiel entre les deux pôles de l'organe; cette différence apparaît uniquement sous l'influence de la volonté de l'animal, au moment où il lance sa décharge, de même que le travail mécanique n'apparaît dans le muscle que sous l'influence de la volonté ou d'une excitation du nerf moteur. La contraction du muscle et la décharge de l'organe électrique sont donc deux phénomènes obéissant aux mêmes lois générales. D'après M. d'Arsonval ils reconnaissent une seule et même cause : les variations de la tension superficielle du protoplasma sous l'influence de l'excitation provenant de l'influx nerveux; théorie émise par l'auteur en 1878 et que justifient pleinement la structure anatomique de l'organe ainsi que ces dernières expériences.

Recherches sur la décharge électrique de la torpille;

PAR M. D'ARSONVAL.

Pour inscrire les phases de la décharge de la torpille et la mesurer, j'ai eu recours à quelques dispositifs spéciaux, que je décrirai sommairement tout d'abord.

1. Le premier appareil inscripteur, que j'appelle *galvanographe,* dérive, comme principe, du galvanomètre à circuit mobile, que j'ai imaginé en 1880, en collaboration avec M. Marcel Deprez. Il se compose essentiellement (¹) d'une bobine très légère en aluminium sur laquelle est enroulé le circuit traversé par la décharge. Cette bobine est fixée au centre d'une membrane en caoutchouc, fortement tendue sur un tambour à air de Marey. Ce premier tambour est relié par un tube de caoutchouc à un second tambour amplificateur plus petit, portant un court levier inscripteur se déplaçant sur un cylindre enfumé. La bobine mobile plonge dans un champ magnétique annulaire de grande intensité. En vertu d'une action bien connue, cette bobine se déplacera dans le champ et son déplacement mesurera à chaque instant le sens et les variations du courant qui la traverse. Cet ensemble constitue un galvanomètre très sensible, inscrivant à distance ses indications par le mécanisme bien connu des tambours à air de Marey, employés en Physiologie. La bobine en aluminium et les membranes en caoutchouc constituent un système amortisseur des plus énergiques qui rend l'instrument très apériodique. On peut encore augmenter l'apériodicité en faisant mouvoir la bobine dans du pétrole, mais cette précaution est inutile dans le cas présent, car les mouvements de la bobine ont une très faible amplitude, la multiplication se faisant par le jeu naturel des tambours à air qui sont, comme je l'ai dit, de diamètres inégaux.

J'ai employé également un deuxième appareil inscripteur, constitué par un fil d'argent d'environ un dixième de millimètre de

(¹) *Voir* D'ARSONVAL, *Société internationale des Électriciens,* avril 1892, et *Société française d'Électrothérapie,* 1891.

diamètre et de 40^{cm} à 50^{cm} de long. Ce fil est tendu horizontalement entre deux supports rigides. En son milieu vient s'accrocher un deuxième fil tendu par un ressort de caoutchouc et portant une pointe très fine se déplaçant dans le cylindre enregistreur. Quand le fil d'argent est traversé par un courant, il s'échauffe et l'allongement qui en résulte est considérablement amplifié par la flèche qu'il forme. La pointe laisse une trace sur le cylindre. Les indications de cet appareil sont très rapides en raison de son peu de masse. Elles le deviennent bien plus encore si le fil d'argent, au lieu d'être exposé à l'air, est noyé dans du pétrole. Comme je ne demandais à cet appareil que la mesure de l'intensité efficace du courant dans le cas actuel, et non l'indication des phases de la décharge, je n'ai pas employé le bain de pétrole qui diminue beaucoup la sensibilité. C'est un dispositif analogue qui me sert depuis assez longtemps à mesurer l'intensité des courants alternatifs à haute ou basse fréquence. On tare naturellement l'appareil en le faisant traverser par un courant continu d'intensité connue. Inutile d'ajouter que, si le courant à mesurer est très intense, on n'en dérive qu'une partie dans le fil d'argent. C'est ce qui a lieu pour la décharge de la torpille, comme je le dirai tout à l'heure.

2. Pour procéder à une mesure, la torpille est placée sur un plateau à fond métallique, dans lequel on laisse une couche d'eau de mer de 1^{cm} d'épaisseur pour que l'animal puisse respirer pendant l'expérience. Dans une feuille de papier d'étain, on taille deux électrodes ayant la forme des organes électriques et l'on applique ces deux feuilles sur la surface dorsale de ces organes, en les réunissant entre elles par une bande de papier d'étain de 5^{cm} de largeur et assez épaisse.

Le plateau métallique inférieur constituera l'électrode négative et les lames d'étain l'électrode positive de cet électromoteur vivant. Ce sont ces électrodes qu'on réunit aux différents appareils destinés à mesurer ou à rendre visible la décharge des organes.

Pour provoquer la décharge, il suffit de pincer même légèrement, et avec une pince à dissection, le bord des ailes du poisson. Dans ces conditions, la torpille ne donne, en général, qu'une décharge; mais, si le pincement est violent, les décharges sont multipliées et gênantes pour l'enregistrement.

3. La courbe inscrite par le galvanographe montre que la décharge n'est pas continue, ainsi que l'a signalé M. Marey; elle se compose de 6 à 10 décharges successives qui s'additionnent au début en se suivant à environ $\frac{1}{100}$ de seconde. L'intensité atteint son maximum, en général, après la troisième décharge partielle et va ensuite en diminuant graduellement jusqu'à zéro. Le courant va toujours dans le même sens, de façon que le dos de l'animal est toujours positif et le ventre toujours négatif. La courbe tracée a une allure absolument semblable à celle de la contraction musculaire, l'intensité augmentant rapidement pour atteindre son maximum et retomber ensuite à zéro plus lentement.

La durée moyenne d'une décharge oscille entre $\frac{1}{10}$ et $\frac{15}{100}$ de seconde à la température de 19° C. où j'ai opéré.

Sur des torpilles de 25^{cm} à 35^{cm} de diamètre, conservées depuis huit jours dans les bassins du laboratoire de Concarneau, j'ai obtenu les nombres suivants : la force électromotrice a oscillé entre 8 et 17 volts et l'intensité entre 1 et 7 ampères (1).

En possession de ces nombres, j'ai pensé qu'il était possible de traduire aux yeux du public l'énergie de la décharge sous une forme plus palpable. J'ai employé, pour cela, le dispositif suivant qui réussit très bien. Je prends une lampe à incandescence consommant 4 volts et 1 ampère et je la réunis à un des organes électriques. En pinçant l'animal, cette lampe s'allume et se trouve portée au blanc éblouissant pendant un instant. Il est prudent de mettre la lampe en rapport avec un seul des organes et de pincer légèrement l'animal, sans quoi la lampe est infailliblement brûlée, comme cela m'est arrivé la première fois que j'ai fait l'expérience. J'ai pu mettre trois de ces lampes en tension et les allumer au blanc; j'ai réussi également en les plaçant en quantité. Avec un

---

(1) *En court circuit.* A circuit *ouvert*, la force électromotrice de l'organe peut dépasser 300 volts. Pour faire cette mesure, que je n'ai pu effectuer que récemment à Paris, j'emploie un électromètre multicellulaire de Lord Kelvin. L'électromètre n'est mis en rapport avec l'organe que juste au moment où la décharge est maxima. Pour arriver à ce résultat, j'utilise l'indépendance fonctionnelle des deux organes électriques. L'un d'eux actionne un électro-aimant polarisé qui ferme le courant de décharge du second organe sur l'électromètre au moment où l'onde atteint seulement son maximum, la communication étant aussitôt rompue pour laisser l'électromètre en charge.

ampère-mètre Deprez-Carpentier, l'aiguille a été chassée plusieurs fois au delà de la graduation qui n'allait qu'à 5 ampères.

En lançant la décharge dans une petite bobine de Ruhmkorff, j'ai également fait briller d'un vif éclat deux tubes de Geissler. Ces expériences, faciles à répéter, ont l'avantage de montrer à un nombreux auditoire à la fois la nature électrique et l'intensité de la décharge de la torpille.

4. Les deux organes fonctionnent synergiquement et avec la même intensité, comme on s'en assure facilement en plaçant une lampe électrique sur chaque organe. Les deux lampes s'allument au même instant et présentent le même éclat, bien qu'ayant des circuits séparés.

5. L'organe s'épuise vite; après 4 ou 5 décharges répétées coup sur coup la lampe s'allume de plus en plus faiblement. Si l'on n'a utilisé le courant que d'un seul organe et qu'on porte ensuite la lampe sur le second organe qui est resté à circuit ouvert, on obtient un courant très fort allumant vivement la lampe; ce fait prouve que l'incitation nerveuse volontaire ne suffit pas pour épuiser l'organe et que c'est bien dans l'organe et non dans le système nerveux que se produit l'électricité. Cinq à dix minutes de repos rendent à la décharge son énergie première, si l'on n'a exercé que de légers pincements.

6. En enfonçant deux aiguilles thermo-électriques dans les organes, j'ai constaté que, pendant la décharge, l'organe s'échauffe jusqu'à $\frac{3}{10}$ et $\frac{3}{20}$ de degré, mais seulement s'il est fermé en court circuit sur lui-même. A circuit ouvert, je n'ai constaté aucun échauffement malgré des pincements répétés.

7. En coupant les nerfs électriques de façon à supprimer l'action de la volonté et en excitant le bout périphérique de ces nerfs par un choc d'induction, le galvanographe inscrit une décharge ou plutôt un flux unique d'électricité, comme l'avait constaté déjà M. Marey. La courbe de cette décharge est tout à fait semblable à celle de la secousse musculaire. La décharge ainsi provoquée est beaucoup plus faible que la décharge volontaire.

Son intensité croît avec l'intensité de l'excitation jusqu'à une certaine limite comme pour le muscle. Les nerfs électriques m'ont paru être plus excitables par les courants de la pile que par les courants d'induction; il leur faudrait donc une caractéristique d'excitation plus étalée que pour le nerf moteur musculaire.

8. En plaçant sur l'organe un stéthoscope à membrane pendant la décharge, j'ai pu percevoir, à deux reprises, un son assez bas, correspondant à environ 100 vibrations par seconde, montrant que l'organe est le siège de vibrations, comme cela a lieu pour le muscle pendant la contraction volontaire. Il faut, pour cela, fermer l'organe ausculté en court circuit et pincer très légèrement l'animal, sans quoi les mouvements qu'il fait rendent l'observation impossible. Je n'ai pu réussir à l'entendre sur l'organe isolé excité artificiellement.

9. En enregistrant la décharge volontaire au moyen de deux signaux Deprez communiquant avec le même organe, mais l'un recevant le courant provenant de la partie antérieure, et le second de la partie postérieure, j'ai constaté un retard de quatre centièmes de seconde du second sur le premier. L'organe constituerait-il plusieurs départements ayant des décharges indépendantes? Les faits signalés aux n°s 8 et 9 demandent un supplément d'instruction.

10. Enfin, on ne constate aucune différence de potentiel entre les deux faces de l'organe au repos. Cette différence ne se montre qu'au moment où l'animal lance volontairement sa décharge.

En se reportant à la constitution physique de l'organe si bien étudiée par mon collègue Ranvier, on peut s'expliquer tous ces phénomènes de la façon suivante : l'organe, de chaque côté, est composé d'environ 500 prismes hexagonaux accolés. Chaque prisme est divisé en 2000 cellules distinctes par une cloison membraneuse. Chaque cellule ou case contient deux substances distinctes : une substance granulée, grisâtre et biréfringente occupe la partie inférieure (ventrale) du prisme; une substance hyaline monoréfringente constitue la moitié supérieure de la case. Le nerf électrique (moteur) se divise dans la substance grisâtre, dont

la constitution et les réactions sont analogues à celles de la substance protoplasmique contractile. Ces deux substances ne sont pas miscibles et présentent une surface de séparation dont l'étendue peut varier sous l'influence de l'excitation du nerf électrique. Au moment de l'excitation du nerf, le protoplasma tend à prendre la forme globulaire ; la surface de séparation augmente et s'accompagne d'une variation électrique comme dans l'électromètre capillaire de Lippmann. L'expérience montre que, au moment de la contraction, le protoplasma devient toujours négatif par rapport au milieu environnant ; c'est là un fait général constaté par tous les électro-physiologistes. Il s'ensuit que, au moment de la décharge, chaque case est le siège d'une oscillation électrique qui fait que la substance grise devient négative et la substance hyaline positive. Ces variations électriques s'additionnent pour chaque case de sorte que la différence de potentiel aux extrémités d'un prisme est 2000 fois plus grande que pour une case seule, comme dans mon muscle artificiel constitué par une série d'électromètres Lippmann associés en tension. La face ventrale du prisme doit donc être négative et la face dorsale positive, conformément à ce que montre l'expérience. La réunion des prismes en *quantité* explique la grande intensité de la décharge, comme la réunion des cellules en *tension* explique sa grande force électromotrice. Enfin, on s'explique pourquoi la contraction musculaire et la décharge électrique suivent les mêmes lois, pourquoi la force électromotrice n'apparaît dans l'organe que sous l'influence de l'excitation (volontaire ou provoquée) du nerf électrique, puisque ces deux phénomènes reconnaissent une seule et même cause fondamentale : la variation électrique du protoplasma qui entre en action.

Dans la cellule électrique, qui est à parois rigides, il ne peut y avoir de déformation extérieure ; il en est tout autrement pour le muscle.

SÉANCE DU 20 DÉCEMBRE 1895.

PRÉSIDENCE DE M. CAILLETET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 6 décembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. COTTON, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Toulouse.
WOLFF (Dr), Professeur de Physique à l'École de Médecine de Tours.

M. le PRÉSIDENT annonce à la Société la perte douloureuse qu'elle vient de faire dans la personne de M. *Charles-Louis Pinel*, ingénieur à Rouen.

M. le PRÉSIDENT communique à la Société une lettre du Ministre de l'Instruction publique, des Beaux-Arts et des Cultes, annonçant que l'ouverture du Congrès des Sociétés savantes aura lieu à la Sorbonne, le mardi 7 avril 1896, à 2^h.

Les Membres de la Société, qui désirent prendre part aux Réunions du Congrès et y communiquer, sont priés d'adresser, avant le 15 janvier, l'analyse détaillée du sujet de leur communication, au Premier Bureau du Secrétariat et de la Comptabilité.

On procède à l'élection de la *Commission des Comptes :* MM. le colonel *Bassot*, *Bordet* et le commandant *Renard*, sont élus pour vérifier les comptes de l'année 1895.

M. G. MANŒUVRIER, avant de parler de ses recherches personnelles sur le nombre γ, rapport des deux chaleurs spécifiques des gaz, demande la permission de dire quelques mots sur les *origines de la question*. C'est un point d'*Histoire de la Physique*, sur lequel bien des obscurités règnent et quelques erreurs ont cours, au moins dans l'enseignement : c'est pourquoi il croit intéressant de l'exposer brièvement devant la Société.

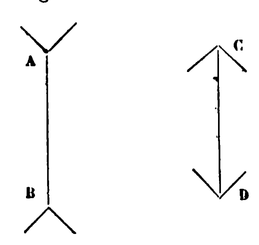
La notion de γ a été introduite dans la Science à propos de la correction de la formule de Newton sur la vitesse du son. Ce problème a occupé et préoccupé les Savants français et l'Académie des Sciences pendant les vingt premières années du siècle. M. Manœuvrier énumère les péripéties qu'a subies, de 1802 à 1823, la solution de ce problème; il fait connaître la part que Laplace et Poisson y ont prise, respectivement, et il prouve que Desormes et Clément y sont restés complètement étrangers. Leur expérience fameuse, exécutée par eux en 1812, en vue d'un objet tout différent, ne fut interprétée par Laplace qu'en 1819, et répétée par Gay-Lussac et Walter qu'en 1822, en vue de la détermination de γ.

Quant à l'*historique* proprement dit de la question, il ne comprend pas

moins de quarante-cinq Mémoires, publiés, en France d'abord, puis à l'étranger, de 1823 à 1895 : M. Manœuvrier n'en parle absolument que pour en signaler l'importance. Et comme, néanmoins, sa Communication s'est prolongée au delà de ses désirs et de ses prévisions, il croit devoir ajourner à une autre séance l'exposé de ses propres expériences.

M. Javal fait passer sous les yeux de la Société une série d'illusions d'optique connues sous les noms de figures de Hering, de Zöllner, etc.

Toutes ces illusions ont cela de commun, qu'elles augmentent sous l'influence des mouvements des yeux et disparaissent, au contraire, quand on examine les figures qui y donnent lieu en ne les éclairant qu'un instant, soit au magnésium, soit à la lumière électrique. L'illusion produite par les lignes ci-contre, d'après laquelle la ligne AB paraît plus longue que CB, rentre dans cette catégorie :



Aux explications nombreuses qui ont été données de ces illusions, M. Javal substitue celle-ci : quand des lignes tracées sur un plan affectent des dispositions analogues à celles que l'œil est habitué à rencontrer dans la représentation perspective d'objets, l'appréciation des dimensions et positions de ces lignes est faussée par l'interprétation évoquée par des lignes ainsi disposées.

M. Pellat signale l'illusion d'optique suivante : quand, du parapet d'un pont, on a regardé passer un train de chemin de fer marchant à une allure modérée, et passant sous ce pont, la voie, après le passage du train, paraît fuir en sens inverse. M. Pellat pense que cette illusion s'explique par le fait qu'en ayant suivi de l'œil le mouvement, l'observateur s'y est accoutumé et juge animé d'un mouvement inverse les objets au repos.

M. Javal est d'accord avec M. Pellat. Il pense que l'illusion provient de ce qu'après le passage du train, les yeux continuent à faire les mouvements alternatifs, lents et rapides, qui étaient nécessaires pour regarder successivement les wagons. Ces mouvements sont inconscients, et, comme la rétine n'est impressionnée que pendant les mouvements lents, qui ont lieu dans le sens que suivait le train, après son passage la voie paraît fuir en sens inverse.

M. Gariel signale une illusion analogue à celles décrites par M. Javal, et dont l'explication est tout à fait concordante.

M. d'Arsonval présente, au nom de M. Blot, ingénieur civil, un nouvel accumulateur dit *à navettes*, genre Planté.

Cet appareil se distingue de ses devanciers par son mode de construction et par les résultats qu'il fournit. Il est essentiellement formé par deux rubans de plomb pur, dont l'un est plan et l'autre ondulé, qui sont roulés sur une navette en plomb antimonié. La navette est ensuite sectionnée en deux, au milieu de sa longueur, de telle façon que les rubans de plomb peuvent augmenter de volume librement, tant dans le sens de la longueur que suivant la largeur.

Le foisonnement se trouve ainsi *dirigé* sans être *contrarié*. Un certain nombre de ces navettes sont soudées parallèlement dans un cadre rigide en plomb antimonié, qui constitue de la sorte une plaque soit positive, soit négative, de l'accumulateur.

La libre dilatation de la substance active, ainsi que la grande surface qu'elle offre à l'électrolyse (1^{mq} pour 3^{kg}), permettent des charges et des décharges extrêmement intenses. L'appareil peut être fermé en court circuit, par exemple, sans subir aucune détérioration. M. d'Arsonval montre à la Société un accumulateur ayant $7^{kg},500$ de plaques faisant partie d'une batterie qui, depuis un an, fonctionne journellement en débitant un courant dont l'intensité varie de 80 à 20 ampères. Il n'y a pas traces de détérioration des plaques à ce régime excessif.

La capacité qui, au début, était de 10 ampères-heure au kilogramme a pu monter jusqu'à 19.

Les essais faits depuis un an au Laboratoire central d'Électricité et au Post-Office de Londres montrent qu'au débit de 5,6 ampères à la livre anglaise, l'accumulateur Blot rend en *quantité* 86 pour 100, et en *énergie* 76 pour 100, suivant les procès-verbaux d'expertise délivrés par M. de Nerville et par M. Preece.

Les origines de la mesure de $\frac{C}{c}$. *Histoire de l'expérience dite* de Clément et Desormes;

PAR M. G. MANEUVRIER.

I. *Formule de Newton.* — La notion du rapport γ des deux chaleurs spécifiques de l'air est entrée dans la Science à l'occasion de la correction de la formule de Newton sur la vitesse du son. C'est *par* la vitesse du son, et aussi *pour* la vitesse du son, que les premières valeurs de γ furent déterminées.

Newton avait appliqué les équations du mouvement des fluides

élastiques à l'étude de la propagation *d'une pulsion*, c'est-à-dire d'un ébranlement qui serait communiqué sur une petite étendue à une ligne indéfinie de molécules aériennes. Et il était arrivé à démontrer la proposition suivante ([1]), qui détermine la vitesse « horizontale » du son :

Les vitesses des pulsions qui se propagent dans un milieu élastique sont en raison composée de la raison sous-doublée de la force élastique directement et de la raison sous-doublée de la densité inversement, en supposant la force élastique du fluide proportionnelle à sa condensation.

Cette proposition doit se formuler, non pas sous la forme générale

$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho}},$$

qu'on désigne communément sous le nom de *formule de Newton*, mais sous la forme particulière

$$V = \sqrt{\frac{p}{\rho}}$$

(V vitesse de propagation; p force élastique et ρ densité absolue du milieu). En effet, elle suppose expressément la proportionnalité de la force élastique du fluide « à sa condensation », d'après la loi de Boyle et de Mariotte, et, par suite, l'invariabilité de la température du milieu propagateur : c'est donc le cas de l'*élasticité isotherme* E_t, laquelle est égale à p.

Newton appliqua lui-même sa formule : en désignant par A la hauteur d'une colonne du fluide de densité ρ qui ferait équilibre à la force élastique p, on aurait

$$p = A\rho g, \qquad \text{d'où} \qquad V = \sqrt{Ag}.$$

Si l'on compare cette nouvelle forme de la formule avec la for-

---

([1]) *Principia mathematica Philosophiæ naturalis Isaaci Newtonis, equitis aurati*, revue par Clairault sur la dernière édition de 1726. Traduction française de Mme la marquise du Châtelet (an 1749), t. I, proposition XLVIII, théor. XXXVIII.

mule générale de la vitesse des corps qui tombent en chute libre

$$V = \sqrt{2gh},$$

on sera conduit à ce nouvel énoncé de Newton :

La vitesse des pulsions est celle que les graves acquièrent en tombant d'un mouvement également accéléré et en parcourant dans leur chute la moitié de la hauteur A.

En substituant les données expérimentales connues de son temps,

$A = 356700$ pouces ou 29725 pieds anglais, $\quad g = 4\pi^2 . 39\frac{1}{5}$,

il trouva

$V = 979$ pieds anglais par seconde.

Or on savait que le son parcourt environ 1142 pieds par seconde. Cette divergence frappa le grand géomètre, mais ne l'embarrassa point. Il en rapporta la cause aux particules étrangères que l'air tient en suspension, et qui, d'après lui, devaient opposer un retard à la propagation des pulsions; et il attribua à sa vitesse calculée un surcroît de 109 pieds, du fait des particules solides, et un surcroît de 52 pieds du fait « des molécules de vapeurs cachées dans l'air ». Si l'on fait la somme $(979 + 109 + 52)$, on arrive au nombre 1140 au lieu de 1142. Cette concordance de la théorie avec l'expérience satisfit Newton complètement.

II. *Objections de Lagrange et d'Euler. — Hypothèse de Laplace.* — Les membres de l'Académie des Sciences de Paris ayant fait en 1738 une série d'expériences, sur une distance d'environ 29000^m, et à une température de 6° C. (terme moyen), en avaient conclu pour la vitesse du son, dans ces conditions,

$V = 337^m,18$ (par seconde).

D'autre part, si l'on introduisait dans la formule de Newton les données expérimentales fournies par les physiciens français, à savoir :

$g = 9,7979$; hauteur barométrique normale $= 0^m,76$;
rapport de la densité du mercure à celle de l'air $= 10475,68$,

on trouvait

$$279^{m},396 \text{ (par seconde) à } 0^{o}$$

et, en multipliant ce nombre par

$$\sqrt{1 + 6 \times 0,00375},$$

pour faire la correction de température,

$$V_n = 282^{m},42 \text{ (par seconde) à } 6^{o}.$$

L'écart

$$V - V_n = 54^{m},76$$

représente environ $\frac{1}{6}$ de la valeur observée (¹). On ne pouvait pas l'expliquer par des erreurs de mesure, qui étaient notablement inférieures à cet ordre de grandeur, et l'on ne voulait plus admettre les conjectures de Newton sur l'influence des molécules étrangères. Il fallait donc considérer la formule de Newton comme étant inexacte ou incomplète.

Lagrange fit remarquer le premier (²) qu'on pourrait supprimer cet écart en *supposant* que, dans la compression de l'air, son élasticité augmentât *plus rapidement* que sa densité; mais lui-même ne s'arrêta pas à cette idée juste. « Cette supposition, dit-il, n'est pas admissible, puisque Mariotte et tous ceux qui ont répété ses expériences ont trouvé que la densité de l'air *croît dans le même rapport* que les poids qui le compriment, tant que la température reste invariable. »

Ce fut Laplace qui, le premier (³), attribua l'écart à sa véritable cause : c'est que la formule de Newton ne tient pas compte du surcroît d'élasticité dû au dégagement instantané de chaleur qui a lieu, par compression de l'air, sur le passage des ondes sonores.

III. *Premier Mémoire de Poisson sur la vitesse du son. — Première détermination de* γ. — Biot (⁴) en 1802 et Poisson

(¹) Ce calcul est fait dans le Mémoire de Poisson : *Sur la vitesse du son* (1807).

(²) Lagrange, *Mémoires de Turin*, t. II.

(³) Poisson, *Mémoire sur la théorie du son*, 1807, et *Mémoire sur la vitesse du son*, 1823.

(⁴) *Journal de Physique*, t. LV, p. 173.

en 1807 firent voir, en effet, qu'en tenant compte de cette cause, la vitesse calculée devait se rapprocher beaucoup de la vitesse observée. Toutefois Biot paraît n'avoir pas tout à fait compris ou admis l'hypothèse de Laplace, puisqu'il cherche à déduire de la seule connaissance du coefficient de dilatation des gaz l'élévation de température qui résulterait dans l'air d'une compression déterminée. Mais Poisson, au contraire, établit une théorie du son, dans le cas le plus général, en introduisant l'hypothèse de Laplace dans les équations du mouvement de propagation des ondes.

La discussion des équations du mouvement conduisit Poisson à cette conclusion que la vitesse a_0 du son à 0° était donnée par

$$a_0 = \sqrt{\frac{gH}{D}(1+k)}$$

(k étant le terme qui représente le surcroît d'élasticité corrélatif du dégagement de chaleur et de l'élévation de température θ dus à la compression des ondes), et, à la température t°, par

$$a = \sqrt{\frac{gH}{D}(1+t\times 0{,}00375)}\sqrt{1+k'}.$$

(Il appelle d'abord k' ce que devient le terme k lorsque la température s'élève à t°; puis il néglige cette différence $k'-k$).

A l'époque où Poisson écrivit son premier Mémoire, les physiciens n'avaient encore fait aucune expérience qui pût servir à déterminer k ou θ; il renversa donc la question et, de la comparaison de sa formule avec la vitesse observée en 1738, il déduisit ces deux quantités.

1° *Accroissement d'élasticité* k. — Si l'on substitue à a 337,18 (mètres par seconde), et au premier facteur du deuxième membre le nombre 282,42, qui correspond à la vitesse calculée sans correction, on a

$$k' \quad \text{ou} \quad k = 0{,}4254 \quad \text{et} \quad 1+k = 1{,}4254.$$

Remarque. — Plus tard, dans son Mémoire de 1823, Poisson démontra que son terme correctif $\sqrt{(1+k)}$ ou $\sqrt{(1+k')}$ est identique au terme correctif de Laplace $\sqrt{\gamma}$. On peut donc lui attri-

buer justement la première valeur de γ qui ait été déterminée; et elle fut déduite de la formule de la vitesse du son.

2° *Élévation de température* θ. — Le procédé de calcul consiste à exprimer, en fonction de θ, la nouvelle force élastique acquise par l'air pendant le mouvement de propagation.

Poisson fait, en outre, l'hypothèse que, *vu la petitesse* de la compression qui se propage sur tout le parcours de l'onde sonore, on peut considérer l'élévation de température θ qui en résulte comme lui étant proportionnelle; et il pose alors $\theta = mu$, m étant une constante.

Il parvient alors, par identification, à la formule

$$k = \frac{\alpha m}{1 + \alpha t} = \frac{\alpha\theta}{(1 + \alpha t)u}.$$

En substituant aux lettres les données numériques

$$a = 0{,}00375, \qquad t = 6^\circ \qquad \text{et} \qquad k = 0{,}4264,$$

on a

$$m = 115{,}9, \qquad \text{soit} \qquad 116, \qquad \text{d'où} \qquad \theta = 116u.$$

Pour $\theta = 1^\circ$, on aurait $u = \frac{1}{116}$. Inversement, si la compression a été de $\frac{1}{116}$, la température a dû s'élever de 1°. Et, en général, si une couche d'air éprouve une compression très petite, u, entre deux autres couches d'air, sa température devra s'élever de

$$\theta = 116u.$$

IV. *Premier essai de correction de Laplace, d'après l'expérience de Delaroche et Bérard.* — Laplace, en 1816, développe lui-même son hypothèse dans un Mémoire lu à l'Académie des Sciences (1). Il insiste sur ce fait que, non seulement le passage des ondes sonores dans l'air est accompagné d'un dégagement de chaleur, mais que la chaleur dégagée n'a pas le temps de se dissiper et reste tout entière dans la tranche aérienne, de manière à augmenter son ressort ou son élasticité (2). En faisant

---

(1) *Sur la vitesse du son dans l'air et dans l'eau* (*Annales de Chimie et de Physique*, t. III, p. 239; 1816).

(2) « La chaleur dégagée par le rapprochement de deux molécules voisines d'une *fibre aérienne vibrante* élève donc leur température et se répand de proche

entrer cette « deuxième cause de répulsion » dans le calcul, il arrive à un théorème qu'il énonce sans le démontrer et qu'il exprime par la formule

$$V = V_n\sqrt{\frac{C}{c}},$$

V étant la vitesse observée dans l'air, et V_n la vitesse qu'on peut déduire de la formule de Newton.

Il cherche ensuite dans les travaux des physiciens de son temps des données expérimentales d'où il puisse déduire une valeur plus ou moins approchée du rapport γ. Il les trouve, ou du moins il les prend, non pas, comme on l'a dit souvent, dans les expériences de Clément et Desormes, mais dans le « travail intéressant de MM. Laroche et Bérard sur la chaleur spécifique des gaz ». Ces physiciens, ayant mesuré les quantités de chaleur que dégagent, par un même abaissement de température d'environ 80°, deux volumes égaux d'air atmosphérique, l'un étant à la pression de 1^{atm} et l'autre à la pression de $1^{atm},36$, avaient trouvé que la chaleur dégagée, dans le cas de la plus forte pression, était à la chaleur dégagée dans le cas de la plus faible pression dans le rapport de 1,24 à 1. Laplace interprète cette expérience d'après un théorème qu'il déduit de l'hypothèse de la matérialité du calorique, qu'il énonce encore sans démonstration (¹) et d'où il déduit

$$\frac{C}{c} = \frac{39}{24} = \frac{3}{2} = 1,5.$$

En substituant cette valeur dans la formule (23), il a

$$V = V_n\sqrt{1,5} = 282,42\sqrt{1,5} = 345^m,35 \text{ (à } 6^o\text{)}.$$

---

en proche sur l'air et les corps environnants; mais, cette diffusion et cette radiation *se faisant avec une extrême lenteur par rapport à la vitesse de vibration,* on peut supposer sans erreur sensible que, pendant la durée d'une vibration, la quantité de chaleur *reste la même* entre deux molécules voisines. »

(¹) « Si l'on suppose, avec plusieurs physiciens, que la chaleur contenue dans une masse d'air soumise à une pression constante et à des températures diverses est proportionnelle à son volume (ce qui doit s'écarter peu de la vérité), le rapport γ est égal au rapport de la différence de deux pressions à la différence des quantités de chaleur que développent deux volumes égaux d'air atmosphérique soumis respectivement à ces pressions, en passant d'*une température donnée à une même température inférieure*, la plus petite de ces quantités de chaleur et la plus petite de ces pressions étant prises pour unités. »

Or, les Académiciens français de 1738 avaient trouvé, comme on sait, $337^m,18$ à 6°. La différence est égale à $8^m,17$ *en plus* et elle lui semble assez petite pour n'infirmer en rien l'exactitude de sa formule de correction, car elle peut être attribuée « à l'incertitude des expériences ».

V. *Théorie de Laplace. — Interprétation de l'expérience de Desormes et Clément.* — C'est dans le Livre XII de sa *Mécanique céleste* ([1]) que Laplace traita à fond, au double point de vue théorique et expérimental, la question du rapport γ.

Il établit d'abord ses hypothèses sur les forces moléculaires et sur la manière d'être du calorique dans les corps.

Il les complète, au point de vue du mode particulier de compression de l'air qui a lieu dans la propagation des ondes sonores, en admettant que l'accroissement de chaleur qui en résulte doit être, comme on dit aujourd'hui, *adiabatique.*

A l'aide de ces hypothèses et en introduisant dans les calculs les forces d'attraction et de répulsion moléculaires et caloriques, Laplace parvient non seulement à expliquer la loi de Mariotte et la loi de Gay-Lussac, mais à démontrer le théorème qu'il avait énoncé en 1816.

Restait à soumettre sa formule au contrôle de l'expérience. Pour cela, il n'a plus recours aux mesures de Laroche et Bérard, qu'il semble avoir oubliées complètement; il interprète une autre expérience de la même époque, c'est-à-dire de 1812.

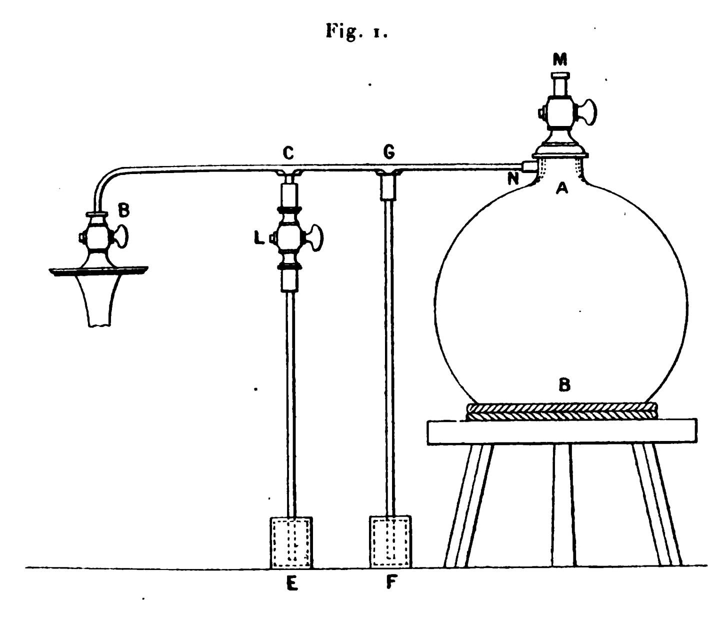
Expérience de Desormes et Clément. — Voici cette expérience, — devenue fameuse, depuis Laplace, sous le nom d'*Expérience de Clément et Desormes*, — telle qu'elle est décrite dans le Mémoire même des auteurs ([2]), avec sa figure explicative (*fig.* 1), ornée de cette légende naïve : *Entrée de l'air dans le vide.* Les auteurs commencent par décrire leur appareil.

([1]) M[is] DE LAPLACE, *Mécanique céleste,* Livre XII, Ch. III.

([2]) Ce Mémoire fut publié ultérieurement, en novembre 1819, dans l'ancien *Journal de Physique, de Chimie et d'Histoire naturelle,* sous le titre suivant : *Détermination expérimentale du zéro absolu de chaleur et du calorique spécifique des gaz,* par MM. Desormes et Clément, manufacturiers. Il est en deux Parties, qui se trouvent dans le même Volume LXXXIX, l'une à la page 321 et l'autre à la page 428.

Description de l'appareil. — « AB est un ballon de verre (*fig.* 1) de $28^{lit},40$, portant une virole en cuivre, muni d'un robinet M ayant une ouverture d'environ $0^{m},014$ de diamètre. Sur le côté de la virole en N se

Fig. 1.



Entrée de l'air dans le vide.

trouve un tube NB communiquant à une machine pneumatique; ce tube communiquait aussi à deux autres tubes GF et CE, dont le premier plongeait dans du mercure et le second dans de l'eau. Celui-ci avait dans sa hauteur un robinet L. Leur longueur était de plus de $0^{m},87$, et ils étaient divisés en parties du mètre. On observait le baromètre et le thermomètre atmosphériques à chaque expérience. »

Les auteurs parlent ensuite des essais préalables qu'ils ont faits pour se familiariser avec la manœuvre et pour établir les conditions les plus favorables à leur expérience, puis ils décrivent en détail l'une de leurs expériences, celle qu'ils considèrent « comme la meilleure d'au moins 60 observations ». La température ambiante était de $12^{\circ},5$ et la hauteur barométrique de $766^{mm},5$.

Opération. — « On opéra, par la machine pneumatique, une dépression de $13^{mm},81$ de mercure (jugée sur le baromètre d'eau). La pression dans le ballon, après un temps suffisant, se trouva être de $752^{mm},69$. Voilà

l'état du récipient avant l'expérience. Nous l'appellerons la *première époque de l'observation.*

» Alors on a ouvert le robinet et l'on a entendu l'air rentrer. On a vu le manomètre descendre au niveau : on a fermé le robinet, bien persuadé que la pression intérieure était égale à celle extérieure, autant par l'abaissement du manomètre à son niveau que par la cessation du bruit de rentrée de l'air, et par l'impossibilité physique d'ouvrir et de fermer le robinet à moins de $\frac{1}{8}$ de seconde, temps plus considérable qu'il n'est nécessaire, d'après le calcul, pour opérer l'introduction de l'air.

» On a ensuite reporté son attention sur le manomètre, qu'on a vu se relever avec une vitesse décroissante jusqu'à une hauteur de $3^{mm},611$ de mercure : c'est ce que nous avons appelé la *deuxième époque de l'observation.*

Interprétation de Laplace. — Laplace tira de cette expérience une conséquence totalement différente des conclusions mêmes des auteurs. A l'aide d'un raisonnement un peu compliqué, mais qu'on peut justifier, en le simplifiant à l'aide des formules de la Thermodynamique, il parvint à exprimer γ au moyen des données expérimentales précédentes. En appelant :

P la pression atmosphérique;

P′ la pression dans le ballon, qui correspondait à *la première époque de l'observation;*

P″ la pression dans le ballon, qui correspondait à *la deuxième époque de l'observation,* il trouva la formule

$$\frac{C}{c} = \frac{P - P'}{P'' - P'}.$$

En y substituant les valeurs numériques de Desormes, il vient

$$\gamma = 1,350.$$

C'est la valeur de γ qu'on appelle improprement *nombre de Clément et Desormes.* Ce nombre, introduit dans la formule de Laplace, donnait $V = 332^m,9$. D'autre part, la vitesse observée en 1738, étant réduite à $12^o,5$ (température de l'expérience de Desormes), devient égale à $340^m,4$. Cela faisait entre les deux nombres un écart de $7^m,5$.

Ce fut à cause de cet écart, encore notable, que Laplace demanda d'une part aux Membres du Bureau des Longitudes d'instituer des expériences pour mesurer à nouveau la vitesse du son;

et d'autre part à Gay-Lussac et Welter, de répéter l'expérience de Desormes et Clément, en la dirigeant dans le sens de l'interprétation qu'il venait d'en donner, de manière à déterminer γ aussi exactement que possible.

VI. *Expériences de Gay-Lussac et Welter. — Vérification de la formule de Laplace.* — Les mesures du Bureau des Longitudes furent exécutées le 21 juin 1822. Elles donnèrent pour la vitesse du son dans l'air

$$V = 340,89 \text{ (mètres par seconde)}$$

à la température de $15°,9$ et sous la pression de 76^{cm}.

Quant aux expériences de Gay-Lussac et Welter, elles étaient en cours d'exécution au moment où Laplace en utilisa les premiers résultats pour la vérification de sa formule ([1]); tout ce qu'on en sait se trouve dans la *Mécanique céleste* ([2]).

L'une des expériences communiquées à Laplace avait donné

$$\frac{C}{c} = \frac{P' - P}{P' - P''} = \frac{16,3644}{11,9235} = 1,372.$$

Quatre autres expériences de Gay-Lussac et Welter, faites sous la pression 757^{mm}, avaient donné $1,3748$ avec une approximation de $\frac{1}{136}$. C'est ce dernier nombre que Laplace adopte pour vérifier sa formule.

La vitesse newtonienne était

$$279^{m},331 \text{ à } 0° \quad \text{et} \quad 283^{m},37 \text{ à } 16°,$$

avec $g = 9,80875$ (Borda) et Δ (rapport de la densité du mercure à celle de l'air) $= 10466,82$ (Biot et Arago).

En multipliant V_n par $\sqrt{1,3748}$, on a

$$V = 337,202^{m}.$$

Laplace ajoute à ce nombre une correction de $0^{m},574$, relative à l'état hygrométrique de l'air pendant les expériences du Bureau des Longitudes, parce que, « la vapeur aqueuse, étant plus

---

([1]) *Note sur la vitesse du son* (*Annales de Chimie et de Physique*, 1re série, t. XX; 1822).

([2]) *Mécanique céleste*, Livre XII, Chap. III, p. 140.

légère que l'air, le rend moins dense, et doit produire sur la vitesse du son un effet analogue à celui de la chaleur ». Le nombre définitif est $337^m,776$: il diffère encore de $3^m,114$ du nombre observé; et cette fois il est légitime que cette différence paraisse à Laplace être « dans la limite des petites erreurs dont cette expérience et les éléments de calcul dont il a fait usage sont susceptibles ».

VII. *Calcul de l'équation adiabatique.* — Ces expériences avaient, en outre, pour Laplace un grand intérêt : elles confirmaient un fait qu'on pouvait déjà prévoir, d'après certaines indications de Desormes et Clément, à savoir la *constance* du rapport γ.

En admettant cette constance, il pouvait intégrer l'équation différentielle où l'avaient conduit ses calculs précédents, à savoir :

$$Cp\frac{dV}{dp} + c\rho\frac{dV}{d\rho} = 0,$$

dans laquelle p et ρ sont la force élastique et la densité, et V une fonction

$$f(u, \rho, p) = V,$$

qui donne la *chaleur absolue* de la molécule du gaz (u désignant ici la température absolue de l'espace). Cette fonction V doit être une solution de l'équation aux dérivées partielles, et il y a une infinité de fonctions V répondant à la question. En intégrant, on a

$$V = \psi\left(\frac{p^{\frac{1}{\gamma}}}{\rho}\right), \quad \psi \text{ représentant une fonction arbitraire.}$$

De toutes ces fonctions, la plus simple est

$$V = F + H\frac{p^{\frac{1}{\gamma}}}{\rho}, \quad \text{F et H étant des constantes.}$$

Telle est l'*équation de Laplace,* proprement dite.

Il est aisé de la mettre sous la forme classique. En introduisant la condition d'adiabatisme, il vient

$$V = \text{const.},$$

d'où, en définitive,

$$pv^{\gamma} = \text{const.}$$

Il est donc légitime de donner à cette équation le nom du grand géomètre qui l'a formulée le premier ([1]).

VII. *Calculs définitifs de Poisson.* — Poisson, qui est souvent considéré comme le promoteur de l'équation adiabatique, n'a fait qu'en donner une démonstration plus simple, plus rigoureuse même que celle de Laplace, en ce qu'elle élimine toutes ses hypothèses sur la chaleur de la molécule; et *il ne l'a donnée qu'après Laplace*. En effet, le second Mémoire, dans lequel il expose ses idées définitives sur la question et où il complète et rectifie son Mémoire de 1807, n'a été publié qu'au mois de juin 1823 ([2]).

Il commence par rendre hommage à la priorité de la découverte de Laplace; puis il rappelle que, en tenant compte du surcroît d'élasticité adiabatique, il avait calculé la vitesse du son a par la formule

$$a = \sqrt{\frac{gH}{D}}\sqrt{\left[1 + \frac{\alpha\theta}{(1+\alpha t)u}\right]},$$

et l'inconnue θ (qu'il avait précédemment calculée en fonction de la correction d'élasticité k), il cherche à son tour à l'exprimer au moyen des données immédiates de l'expérience de Desormes et Clément.

Il arrive à l'équation

$$1 + \frac{\alpha\theta}{(1+\alpha t)u} = 1 + \frac{(P - P'')P'}{(P'' - P')P''},$$

ou, si l'on suppose que P'' est très peu différent de P',

$$1 + \frac{\alpha\theta}{(1+\alpha t)u} = \frac{P - P'}{P'' - P'} = K.$$

De ce que le terme correctif de Poisson, K, et le terme correctif de Laplace, γ, sont exprimés l'un et l'autre par le même rapport numérique, on pourrait en conclure rigoureusement leur

---

(1) *Mécanique céleste*, Livre XII (avril 1823).

(2) Poisson, *Sur la chaleur des gaz et des vapeurs* (*Annales de Chimie et de Physique*, 2e série, t. XXIII, p. 337).

identité. Poisson ne s'est pas contenté de cette démonstration indirecte; il a démontré en outre directement que $K = \gamma$. C'est là le deuxième point de son Mémoire [1].

Puis il poursuit ses calculs en admettant que K soit constant, et il établit alors successivement :

1° La loi de *la variation adiabatique de la température*

$$\theta = 266°,7\left[\left(\frac{V}{v}\right)^{K-1} - 1\right],$$

où v et V sont les volumes qui correspondent aux valeurs ρ et D de la densité de la masse d'air;

2° La loi de *la variation adiabatique de la densité*

$$p = P\left(\frac{\rho}{D}\right)^{K},$$

ou bien, en fonction des volumes,

$$pv^{k} = PV^{K};$$

et nous retombons sur la forme classique de l'équation adiabatique.

IX. *Histoire de l'expérience dite de Clément et Desormes.* — Il s'est presque formé une légende sur ce travail des deux manufacturiers. Leurs noms, leur *méthode de détermination, leur nombre* même se trouvent en tête de tous les Chapitres écrits sur la question. Or, la vérité est qu'*ils ne s'en sont jamais occupés.* Ils n'ont jamais pensé à déterminer γ, ils n'ont jamais fait la moindre mesure dans ce sens, et ils n'ont donné aucune valeur de ce rapport. C'est ce qui résulte, avec évidence, de l'historique exposé ci-dessus. On a vu que c'est Laplace qui a le premier interprété les données expérimentales de Desormes et Clément de manière à en déduire une valeur de γ; et que c'est Gay-Lussac qui a le premier fait servir leur dispositif expérimental à des recherches méthodiques sur la valeur de γ.

---

(1) Je ferai remarquer que le terme K est le même que Poisson désignait par $(1 + k)$ ou par $(1 + k')$ dans son Mémoire de 1807.

Desormes et Clément avaient dirigé leurs recherches vers un but tout différent : il s'agissait pour eux de répondre à la *question des chaleurs spécifiques*, mise au concours par l'Académie des Sciences en 1812, et ils publièrent leur Mémoire en 1819, dans le *Journal de Physique, de Chimie et d'Histoire naturelle*, comme une sorte de protestation contre l'Académie, qui ne leur avait pas décerné le prix. Or, pour se rendre compte de la légitimité de cette manifestation, il suffit de jeter un coup d'œil sur les conclusions du Mémoire, qui sont libellées comme il suit.

« Résumé des principales vérités qu'on a essayé de démontrer dans ce Mémoire :

1° Les changements de température qui résultent de la compression ou de la dilatation de l'air et de sa rentrée dans le vide sont *uniquement dus au calorique de l'espace.* »

On voit par là combien les auteurs étaient loin des idées de Laplace et de la véritable interprétation du phénomène thermique qui caractérise leur expérience.

« 2° Le calorique absolu de l'espace, à la température de 12°,5, peut élever de 114° un volume d'air atmosphérique égal à lui, sous la pression atmosphérique et d'abord à la même température de 12°,5. »

C'était là le résultat direct de leur expérience, d'après leur propre interprétation.

Ils considèrent, en effet, que :

1° L'aspiration de *la première époque* a produit dans l'air du ballon *un vide partiel,* qu'ils évaluent, par un calcul simple (1), à $0^{lit},52$;

2° Une partie seulement de ce vide, laquelle ils évaluent à $0^{lit},377$, a été comblée par la rentrée d'air de *la seconde époque* (2);

(1) « La pression dans le ballon, après un temps suffisant, se trouvera être de $(766^{mm},1 - 13^{mm},81) = 752^{mm},69$; par conséquent, le volume de l'air resté aurait été, sous la pression atmosphérique, de $27^{lit},888$ (*d'après la loi de Mariotte*), et le vide fut de $0^{lit},52$. »

(2) « La pression dans le récipient, après le retour de la température intérieure à celle ambiante, était de $(766^{mm},5 - 3^{mm},611) = 762^{mm},88$; le volume d'air contenu serait alors, sous la pression atmosphérique (*d'après la loi de Mariotte*) de $28^{lit},26$; par conséquent, l'air rentré aurait sous la même pression un volume de $0^{lit},377$; par conséquent, le vide détruit était égal à ce nombre $0^{lit},377$. »

3° Ils estiment que « l'air entrant dans le vide fait lui-même fonction de thermomètre en s'emparant de la chaleur qu'il y rencontre; l'échauffement qu'il éprouve augmente son ressort; puis il se refroidit et subit une diminution de pression », et ils déduisent ensuite de la loi de Gay-Lussac que l'élévation de température, qui correspond à *ce vide détruit* de $0^{lit},377$, et à cette chaleur absorbée, est exactement égale à $1°,312$ (¹);

4° De là, ils concluent que « si le vide détruit avait été égal au volume entier du ballon, c'est-à-dire à $28^{lit},40$, c'est-à-dire 75 fois plus grand, le calorique dégagé eût été 75 fois plus grand, c'est-à-dire $1°,312 \times 75 = 99°$ »;

5° Mais, comme ce nombre est encore loin du nombre 116, que les calculs de Poisson rendaient plus probable (²), ils font subir au nombre brut de leurs mesures une ou deux corrections assez bizarres qui finissent par l'amener à 114° (³).

Mais la troisième conclusion du Mémoire est la plus inattendue:

« 3° Le calorique spécifique de l'espace étant 1000, on peut exprimer

---

(¹) Il suffit de remarquer que le volume final de gaz, $28^{lit},26$, occupait le volume total du ballon, c'est-à-dire $28^{lit},40$ à la pression extérieure, au moment où la chaleur du vide absorbée n'était pas encore dissipée. En appliquant la formule classique

$$V_{t+\theta} = V_t(1 + \alpha\theta),$$

il vient

$$\theta = \frac{V_{t+\theta} - V_t}{\alpha V_t} = \frac{28,40 - 28,26}{0,00375 \times 28,26};$$

on trouve

$$\theta = 1°,320.$$

(²) « On lit dans le Mémoire de M. Poisson sur la vitesse du son que $\frac{1}{116}$ de compression dans l'air doit élever sa température de 1°. Pourrait-on dire qu'une réduction de volume, qu'une perte d'espace de $\frac{116}{116}$, c'est-à-dire entière, donneront une élévation de température de 116° d'un volume égal d'air atmosphérique? »

(³) Voici ces corrections, extraites telles quelles du Mémoire :

« 1° En répétant la même expérience avec l'acide carbonique (qui est un meilleur absorbant que l'air à cause de sa capacité calorifique plus grande, 1500 au lieu de 1000), nous avons reconnu que ce gaz recevait un accroissement de température de 77°,50. *Nous sommes en droit de conclure* que, si l'air absorbait le calorique aussi bien que lui, comme sa capacité n'est que les $\frac{2}{3}$ de celle de l'acide carbonique, sa température acquise se serait trouvée moitié plus grande, à savoir

$$77°,50 + \tfrac{1}{2}\,77°,50 = 116°,25.$$

» 2° D'autres expériences faites pour évaluer le calorique perdu pendant le très

celui des gaz, à volume égal, par les nombres suivants :

Air.............	à 758 mm de pression...		2587°,5
Air.............	à 85	» ...	1195
Hydrogène......	à 758	» ...	1697,5
Acide carbonique	à 758	» ...	3917

» Et ils évaluent avec la même unité la chaleur spécifique de l'eau 8278000, et celle du mercure 3400000. »

Il n'y a peut-être pas lieu de s'étonner que l'Académie de 1812 n'ait pas considéré la *question des chaleurs spécifiques* comme résolue par le Mémoire de Desormes et Clément. Mais, pour être équitable, il faut ajouter que ce Mémoire n'était pas sans valeur à d'autres points de vue. En effet, outre l'expérience ingénieuse, qui a servi de modèle à presque tous les expérimentateurs qui ont voulu mesurer γ, il contenait l'idée fort juste d'évaluer la température d'une masse gazeuse par la variation de pression que lui fait subir l'échauffement cherché : c'est le principe même du thermomètre à gaz.

« L'air entrant dans le vide, disent-ils, fait lui-même fonction de thermomètre en s'emparant de la chaleur qu'il y rencontre; l'échauffement qu'il éprouve augmente son ressort; mais il se refroidit, et sa diminution de pression, quand la température est devenue uniforme, mesure très aisément l'excès de température auquel il était parvenu antérieurement. *On sent qu'il est très avantageux de pouvoir éviter, dans une expérience aussi délicate, l'influence d'un thermomètre toujours beaucoup trop massif et, par conséquent, infidèle.*

C'est dans cette remarque si judicieuse qu'on doit chercher l'esprit et la véritable portée de l'expérience de Desormes et Clément.

---

petit temps de l'introduction nous ont laissés persuadés qu'il n'excédait pas $\frac{1}{8}$ de la totalité, et, par conséquent, nous devrons augmenter le résultat fourni par l'expérience sur l'air de $\frac{1}{8}$, c'est-à-dire le porter de 99° à

$$99° + \tfrac{1}{8}\,99° = 111°,38.$$

» Nous ne croyons pas nous écarter de beaucoup de la vérité en prenant le terme moyen de ces deux résultats, et en fixant, par suite, l'effet maximum à 113°,81 ou 114°. »

Et ils ajoutent, assez naïvement, que « le résultat du calcul de M. Poisson s'accorde alors *merveilleusement* avec celui de l'expérience ».

Les Mémoires sur la détermination de $\left(\gamma = \frac{C}{c}\right)$ *pour l'air et les autres gaz*

(1812-1895);

I. *Classification des méthodes.* — Les Mémoires publiés sur la détermination de γ sont très nombreux; mais les méthodes de détermination sont en nombre restreint : on peut les rattacher presque toutes soit à l'emploi de l'équation adiabatique, sous ses diverses formes, soit à l'emploi de la formule de la vitesse du son. Les premières peuvent être considérées comme des méthodes *directes :* elles permettent de déterminer γ *directement,* en fonction des paramètres p, v, t, du gaz soumis à l'expérience. Les autres nécessitent la détermination préalable d'une autre grandeur physique, telle que la vitesse du son dans le gaz considéré : je les appellerai méthodes *indirectes.* A cette catégorie se rattachent logiquement quelques autres méthodes fondées sur l'emploi d'une autre formule, comme les formules de Clausius, ou bien sur la détermination préalable et séparée de C et de c.

II. *Interprétation thermodynamique de l'expérience de Desormes et Clément.* — Parmi les méthodes directes, la plus importante, parce qu'elle a été la plus employée, c'est, sans contredit, la méthode fondée (au point de vue expérimental) sur l'expérience de Desormes et Clément. Il est aisé de démontrer, en interprétant thermodynamiquement cette expérience, qu'elle est une application directe de l'équation adiabatique.

De l'équation de Laplace

$$p_i v_i^\gamma = p_f v_f^\gamma, \tag{1}$$

on déduit immédiatement la formule logarithmique

$$\gamma = \frac{\log\left(\frac{p_i}{p_f}\right)}{\log\left(\frac{v_f}{v_i}\right)}, \tag{2}$$

dans laquelle p_i, v_i et p_f, v_f sont les paramètres de l'état initial et

de l'état final d'une même masse de gaz soumise à une transformation adiabatique, détente ou compression.

Or, reportons-nous à l'expérience de Desormes et Clément [1]. On voit que la pression correspondante à la *première époque,* c'est-à-dire au moment où l'air intérieur, ayant été raréfié par aspiration, a repris la température ambiante t (12°,5) est précisément le p_i de la formule (2). Et si l'on appelle H la pression barométrique actuelle (766^{mm},5) et h_i la colonne mercurielle du manomètre (13^{mm},81), on a

$$p_i = H - h_i.$$

De même, p_f c'est la pression correspondante, non pas à la *deuxième époque,* mais à l'instant de fermeture du robinet, instant où l'air intérieur a été à la fois comprimé et échauffé jusqu'à reprendre une pression égale à la pression barométrique; on a donc

$$p_f = H$$

(*en supposant que la pression barométrique n'ait pas varié, et que la compression de l'air ait été effectuée adiabatiquement*).

Reste à déterminer le rapport $\frac{v_f}{v_i}$. Le dispositif de Desormes et Clément ne le permettait pas; mais il fournissait une autre donnée, d'où l'on peut déduire ce rapport : c'est la dépression manométrique h_m (3^{mm},11), qui correspond à la *deuxième époque.*

En effet, dans l'intervalle qui s'est écoulé entre la fermeture du robinet et la *deuxième époque,* la masse de gaz primitive a subi un refroidissement *sans variation de volume,* qui a ramené sa température à la valeur initiale t, d'où est résultée la dépression h_m; donc les paramètres, à cet instant, sont

$$v_f, \quad \ldots, \quad t, \quad \ldots, \quad p_m = H - h_m$$

(*à condition que la pression et la température ambiantes n'aient pas changé depuis le commencement de l'expérience*).

---

(1) *Voir* p. 246 de ce volume.

Si l'on compare l'*état initial* et ce troisième état, que j'appellerai l'*état auxiliaire,* on voit que leurs paramètres (p_i, v_i, t) et (p_m, v_f, t) déterminent deux points d'une même isotherme. On peut donc écrire, d'après la loi de Mariotte,

$$v_i p_i = v_f p_m, \qquad \text{d'où} \qquad \frac{v_f}{v_i} = \frac{p_i}{p_m},$$

d'où

$$(3) \qquad \gamma = \frac{\log\left(\frac{p_i}{p_f}\right)}{\log\left(\frac{p_i}{p_m}\right)};$$

et, en substituant les données de l'expérience,

$$(4) \qquad \gamma = \frac{\log \frac{H - h_i}{H}}{\log \frac{H - h_i}{H - h_m}} = \frac{\log\left(1 - \frac{h_i}{H}\right)}{\log\left(\frac{1 - \frac{h_i}{H}}{1 - \frac{h_m}{H}}\right)}.$$

Telle est la véritable formule qui s'applique aux données de l'expérience de Desormes et Clément.

Pour la ramener à la forme même adoptée par Laplace et par Poisson, il suffit de développer les logarithmes en série, en supposant les rapports $\frac{h}{H}$ assez petits pour qu'on en puisse négliger les puissances supérieures à la première. Il vient alors

$$(5) \qquad \gamma = \frac{h_i}{h_i - h_m},$$

formule qui donne γ directement en fonction des dépressions barométriques observées au cours de l'expérience.

Et si l'on introduit les notations mêmes de Laplace et de Poisson, on a : dans le cas d'une transformation par compression (expérience de Desormes et Clément)

$$h_i = P - P' \qquad \text{et} \qquad h_m = P - P'',$$

d'où

$$(5\ bis) \qquad \gamma = \frac{P - P'}{P'' - P'};$$

et, dans le cas d'une transformation par détente (expériences de

Gay-Lussac et Welter),

$$h_i = P' - P \quad \text{et} \quad h_m = P'' - P,$$

d'où

$$(5\ ter) \qquad \gamma = \frac{P' - P}{P' - P''}.$$

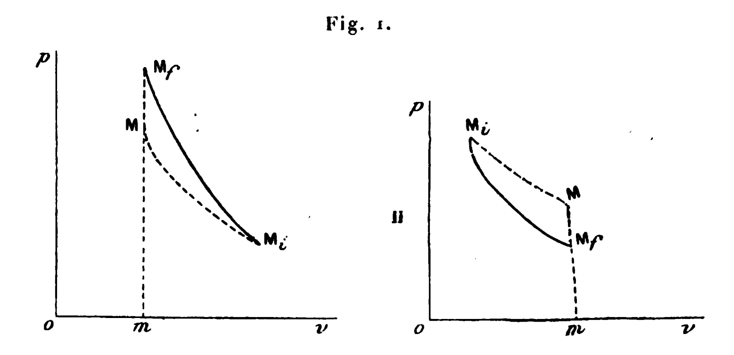
On voit que l'application de cette formule est restreinte au cas de petites dépressions h_i et h_m. De plus, bien que H et t n'y figurent plus, elle suppose implicitement l'invariabilité des conditions de température et de pression pendant toute la durée de l'expérience.

III. *Méthode dite de Clément et Desormes.* — Tel est le principe thermodynamique de la méthode de détermination de γ fondée sur l'expérience de Desormes et Clément et improprement désignée sous le nom de *méthode de Clément et Desormes.* On voit que ce qui la caractérise, ce n'est pas l'emploi de l'une ou l'autre des formules (1) et (2), mais c'est l'artifice expérimental qui permet de substituer une mesure de pression h_m à une mesure de volumes.

Cette transformation *auxiliaire,* qui vient s'ajouter à la transformation principale du gaz, donne une figure particulière au cycle représentatif de l'expérience : celui-ci est constitué par *un arc d'adiabatique* suivi d'*un segment de droite d'équivolume.*

En effet, supposons d'abord qu'on opère par compression (Desormes et Clément) : le point figuratif part du point M_i (*fig.* 1, I),

Fig. 1.



suit l'arc d'adiabatique M_iM_f (phase de compression), puis descend sur la parallèle $M_f m$ à l'axe de p (phase de retour à l'iso-

therme initiale) et s'arrête en M au point où il rencontre l'isotherme du point initial M_i. Si l'on opère par détente, comme Gay-Lussac et la plupart des autres physiciens, le point figuratif part du point M_i (*fig.* 1, II), suit l'arc d'adiabatique M_iM_f, en sens contraire du précédent, puis remonte sur l'ordonnée mM_f jusqu'à ce qu'il rencontre en M l'isotherme du point initial.

Ce cycle est *caractéristique de la méthode* au même titre que l'artifice expérimental de Desormes et Clément. Nous pouvons légitimement rattacher à cette même méthode tous les travaux où l'on retrouve comme principe expérimental ce même cycle de transformation : ce sont les plus nombreux et les plus importants (¹).

IV. *Autre méthode directe : emploi direct de l'équation de Laplace.* — La méthode la plus directe de détermination de γ consiste dans l'application de l'équation de Laplace, soit sous sa forme la plus générale

$$(2) \qquad \gamma = \frac{\log \frac{p_i}{p_f}}{\log \frac{v_i}{v_f}} = \frac{\log p_i - \log p_f}{\log v_f - \log v_i},$$

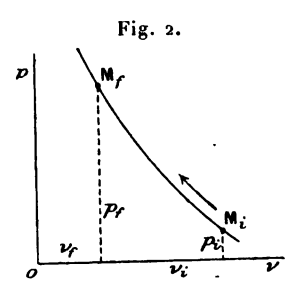
soit sous la forme particulière, obtenue en considérant comme *très petites* les variations de volume et de pression,

$$\gamma = -\frac{\frac{\Delta p}{p}}{\frac{\Delta v}{v}}.$$

(¹) Expérience dite de *Clément et Desormes* (*Journal de Physique, de Chimie et d'Histoire naturelle*, 1819) et son interprétation par Laplace (*Mécanique céleste*, Livre XII, Ch. III, avril 1823) et par Poisson [*Sur la chaleur des gaz et des vapeurs* (*Annales de Chimie et de Physique*, 2ᵉ série, t. XXIII, juin 1823)]. — Expériences de Gay-Lussac et Welter [*Note sur la vitesse du son*, de Laplace (*Annales de Chimie et de Physique*, 1ʳᵉ série, t. XX, 1822)]. — Expériences de C. Assmann [*Ueber Erwärmung und Erkaltung von Gasen durch plötzliche Volumänderung*, von C. Assmann (*Annalen der Phys. und Chemie*, t. LXXXV; 1852)]. — Expériences de Masson [*Sur la corrélation des propriétés physiques des corps* (*Annales de Chimie et de Physique*, 3ᵉ série, t. LIII; 1858)].—Expériences de Weisbach (*Der Civilingenieur*, neue Folge, t. V;

Le cycle caractéristique de cette méthode se réduit à l'arc d'adiabatique M_iM_f (*fig.* 2) qui passe par le point M_i et le point

Fig. 2.



M_f, figuratifs de l'état initial et de l'état final. Peu de physiciens ont appliqué directement l'équation de Laplace : il n'y en a eu, à ma connaissance, que deux, Witte [1] et M. Amagat [2].

V. *Autre méthode directe : emploi indirect de l'équation*

1859). — Expériences de Hirn (*Théorie mécanique de la chaleur;* 1862). — Expériences d'Athanase Dupré [*Sur les variations de température produites dans une masse d'air par un changement de volume* (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. LXVII; 1863)]. — Expériences de Tresca et Laboulaye (*Recherches expérimentales sur l'équivalent mécanique de la chaleur*, par MM. Tresca et Ch. Laboulaye, Mémoire présenté à l'Académie des Sciences, 13 février 1865). — Expériences de A. Cazin : Premier Mémoire [*Essai sur la détente et la compression des gaz sans variation de chaleur* (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. LXVII; 1862)]; deuxième Mémoire [*Mémoire sur la détente des gaz* (*Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. XX; 1869)]. — Expériences de F. Kohlrausch [*Recherches sur la chaleur spécifique de l'air à volume constant, exécutées à l'aide du baromètre métallique* (*Annalen der Phys. und Chemie*, t. CXXXVI; 1869)]. — Expériences du Dr W.-C. Röntgen : Premier Mémoire [*Sur la détermination du rapport des chaleurs spécifiques de l'air* (*Ann. der Phys. und Chem.*, t. CXLI; 1870)]; deuxième Mémoire [*Sur la détermination du rapport des chaleurs spécifiques à pression constante et à volume constant pour quelques gaz* (*Ann. der Phys. und Chem.*, t. CXLVIII; 1873)]. — Expériences de Regnault [*Sur la détente statique des gaz* (*Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. III; 1871)]. — Expériences de M. G. de Lucchi [*Determinazione del rapporto fra le capacita calorifiche dei vapori soprariscaldati dell' acqua et del fosforo* (*Nuovo Cimento*, 3e série, t. XI; 1882)]. — Expériences de M. Em. Paquet [*Détermination du rapport des deux chaleurs spécifiques des gaz* (*Journal de Physique*, 2e série, t. IV; 1885)].

(1) *Sur la chaleur spécifique des gaz à volume constant*, par Witte (*Poggendorff Annalen*, t. CXXXVIII, 1869).

(2) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXXVII, 1871, et *Journal de Physique*, 2e série, t. IV, 1885.

de Laplace. — On conçoit que, étant donnée une transformation adiabatique exprimée par l'équation de Laplace, on puisse substituer à la mesure de l'un des paramètres p et v celle d'un autre paramètre lié invariablement à ceux-là. C'est ainsi qu'Assmann, après avoir discuté les méthodes connues de son temps et les avoir écartées comme étant impropres à une détermination précise, proposa une nouvelle méthode, applicable aux gaz et aux vapeurs à toutes pressions, et qui reposait uniquement sur l'observation directe des oscillations d'un pendule (¹). En voici le principe.

Pour tout mouvement oscillatoire où la force accélératrice f est proportionnelle à la distance x à la position d'équilibre ($f = kx$), la durée d'une oscillation simple est donnée par la formule

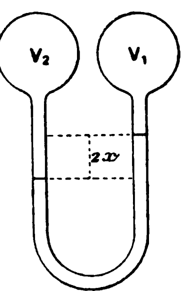
$$T = \frac{\pi}{\sqrt{k}}.$$

En particulier, les petites oscillations d'un pendule simple de longueur l ont pour durée

$$T = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Pour les petites oscillations d'un liquide qu'on fait osciller dans les branches d'un tube en U, sous une longueur l et avec une dénivellation $2x$ (*fig.* 3), la force accélératrice a pour valeur $\frac{2xg}{l}$,

Fig. 3.



et la durée d'oscillation

$$T = \pi\sqrt{\frac{l}{2g}};$$

(¹) C. Assmann, *loc. cit.*

c'est-à-dire que la colonne liquide l oscille comme un pendule de longueur $\frac{l}{2}$.

Si, maintenant, on ferme les deux branches du tube, ou simplement l'une d'elles, en laissant une certaine masse gazeuse au-dessus du niveau liquide, la période sera modifiée par la force élastique du gaz confiné; et, comme cette force élastique subira, du fait des oscillations, des variations, *qu'on peut considérer comme adiabatiques,* on conçoit que le coefficient γ doive intervenir dans la formule de la nouvelle durée d'oscillation.

Assmann prenait le mercure comme liquide oscillant; il confinait une masse d'air dont le volume était égal à une colonne de hauteur λ et de section égale à celle du tube, et il opérait sous la pression barométrique h. Dans ces conditions, la nouvelle durée d'oscillation était

$$T_1 = \pi\sqrt{\frac{l}{g\left(2+\frac{\gamma h}{\lambda}\right)}}.$$

En comparant cette nouvelle durée à la précédente, il en tirait

$$\left(\frac{T}{T_1}\right)^2 = 1+\frac{\gamma h}{2\lambda}, \qquad \text{d'où} \qquad \gamma = \frac{2\lambda}{h}\left[\left(\frac{T}{T_1}\right)^2-1\right] \quad (^1).$$

Ces recherches furent reprises, beaucoup plus tard, avec la même méthode et un appareil analogue, et d'après le même programme, par M. Müller (²) qui les a étendues à un grand nombre de gaz, 21 en tout.

On peut reprocher à ses mesures, comme à celles d'Assmann, outre leur complexité, le défaut d'adiabatisme de l'opération, dû non seulement à la notable durée des oscillations (en moyenne $0^s,60$), mais encore à la faible capacité des enceintes à gaz (au-dessous de $1^{lit},5$).

(¹) On trouvera dans le Tableau (p. 268 et suiv.) les résultats numériques des mesures d'Assmann, ainsi que des autres Mémoires cités ou analysés dans cet Article. Tous ces Mémoires ont été analysés *in extenso* dans ma Thèse (Gauthier-Villars, 1895).

(²) *Détermination du rapport des chaleurs spécifiques des gaz et des vapeurs,* par P.-A. Müller (de Kœnigsberg) (*Wiedemann's Ann*, t. XVIII; 1883).

VI. *Autres méthodes directes : Emploi des autres formules adiabatiques.* — En combinant l'équation de Laplace avec l'équation caractéristique du gaz parfait

(6) $$pv - RT = 0,$$

on peut former deux nouvelles relations adiabatiques, soit entre les températures et les volumes, soit entre les températures et les forces élastiques de l'état initial (p_i, T_i, v_i) et de l'état final (p_f, v_f, T_f), qui sont l'une et l'autre fonction de γ.

En éliminant p, au moyen de l'équation (6), on a l'équation générale

(7) $$T v^{\gamma-1} = \text{const.};$$

et, en appliquant cette équation à une transformation adiabatique finie $M_i M_f$ (*fig.* 2), il vient

$$T_i v_i^{\gamma-1} = T_f v_f^{\gamma-1},$$

d'où

(7 *bis*) $$\frac{T_f}{T_i} = \left(\frac{v_i}{v_f}\right)^{\gamma-1}.$$

De même, en éliminant v, on arrive à l'équation générale

(8) $$T^{\gamma} p^{-(\gamma-1)} = \text{const.}$$

En appliquant cette équation à la transformation $M_i M_f$, il vient

(8 *bis*) $$\frac{T_f}{T_i} = \left(\frac{p_f}{p_i}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}.$$

L'une et l'autre de ces formules permettront de calculer γ, si l'on connaît deux groupes de valeurs soit de T et v, soit de T et p, correspondant à deux états d'une même transformation adiabatique. Mais la substitution d'une mesure de température à une mesure de volume ou de pression n'est pas un progrès, au point de vue expérimental. Elle exige, en effet, l'emploi d'un thermomètre d'une sensibilité extrême et d'une masse négligeable, et elle suppose que la région du gaz où se fait la mesure est en parfait équilibre thermique avec toute la masse.

Deux expérimentateurs seulement, à ma connaissance, se sont risqués à employer cette méthode : MM. Favre et Silbermann, dès 1853, sans aucun résultat acceptable, et, récemment, MM. O. Lummer et E. Pringsheim, avec un certain succès. Favre et Silbermann [1] ne s'occupèrent pas, à proprement parler, de γ; — car « tout porte à croire, disent-ils, que les expériences de Dulong ont déterminé pour les divers gaz le rapport γ avec une grande exactitude »; — ils se proposèrent de déterminer directement les quantités de chaleur, dégagées ou absorbées, par les compressions ou dilatations successives d'un même gaz [2]. Quant à MM. O. Lummer et E. Pringsheim [3], on voit, dans l'Analyse que le *Journal de Physique* a publiée de leurs travaux [4], qu'ils partirent de la formule (8 *bis*), mise sous la forme logarithmique

$$\gamma = \frac{\log \frac{p_1}{p_2}}{\log \frac{p_1}{p^2} - \log \frac{T_1}{T_2}}, \qquad (8\ ter)$$

T_1 et T_2 étant les températures absolues corrélatives des deux forces élastiques p_1 et p_2. Ils se donnaient d'avance p_1 et T_1 et, comme ils choisissaient pour p_2 la pression barométrique du moment, il n'y avait, en réalité, qu'à mesurer T_2. C'est dans cette mesure de T_2 que réside l'originalité de la méthode au point de vue expérimental.

VII. *Autre méthode directe : Application du théorème de Reech.* — Du théorème général de Reech, lequel s'applique à la transformation d'une substance quelconque, on déduit la for-

---

(1) Favre et Silbermann, *Chaleur mise en jeu dans l'acte de la compression et de la dilatation subite de plusieurs gaz* (*Ann. de Chim. et de Phys.*, t. XXXVII).

(2) Ce Mémoire ne constitue qu'un Chapitre du grand Mémoire de ces deux physiciens : *Recherches sur les quantités de chaleur dégagées dans les actions chimiques et moléculaires* (*Ann. de Chim. et de Phys.*, t. XXXIV, XXXVI et XXXVII).

(3) O. Lummer et E. Pringsheim, *Nouvelle détermination du rapport des deux chaleurs spécifiques de l'air* (*Verhandlungen der physikalischen Gesellschaft zu Berlin im Jahre* 1887).

(4) Voir *Journal de Physique*, 3e série, t. IV, p. 368; année 1895.

mule

$$\frac{C}{c} = \frac{dp_q}{dp_t}, \tag{9}$$

qui, appliquée à un gaz, exprime le fait suivant :

Le rapport $\frac{C}{c}$ *des deux chaleurs spécifiques d'un gaz est égal au rapport des variations élémentaires de force élastique* $\frac{dp_q}{dp_t}$, *qui correspondent à une même variation de volume élémentaire, réalisée successivement par voie adiabatique* (dp_q) *et par voie isotherme* (dp_t).

L'emploi de cette formule a été le principe de mes Recherches sur la détermination de γ; l'exposé de ce travail fera l'objet d'une Communication ultérieure.

VIII. *Les méthodes indirectes : Application de la formule de la vitesse du son.* — La méthode fondée sur l'emploi de la formule de la vitesse du son est le type des méthodes indirectes.

1° *Principe de la méthode.* — On sait que la formule de Newton, corrigée par Laplace, est

$$V = \sqrt{\frac{p}{\rho}\gamma}. \tag{10}$$

Soient d la densité d'un gaz, t sa température (évaluée au thermomètre normal), α son coefficient de dilatation, p sa pression actuelle, et soient p_n la pression normale et a_n la masse spécifique normale de l'air. On a

$$\rho = da_n \frac{p}{p_n} \frac{1}{1+\alpha t},$$

d'où

$$\frac{p}{\rho} = \frac{p_n(1+\alpha t)}{da_n} = \frac{p_n \alpha T}{da_n};$$

par suite

$$V = \sqrt{\frac{p_n \alpha T}{da_n}\gamma} = A\sqrt{\frac{T}{d}\gamma},$$

en posant

$$A = \frac{p_n \alpha}{a_n}$$

(coefficient constant).

Pour un autre gaz, pris dans d'autres conditions de température et de pression, on aura

$$V' = A\sqrt{\frac{T'}{d'}\gamma'}.$$

Supposons maintenant qu'on fasse résonner successivement deux tuyaux sonores, l'un dans une atmosphère du premier gaz, l'autre dans une atmosphère du deuxième gaz. On a :

Pour le premier...................... $V = n\lambda = A\sqrt{\frac{T}{d}\gamma}$,

Pour le deuxième..................... $V' = n'\lambda' = A\sqrt{\frac{T'}{d'}\gamma'}$,

d'où

(11) $$\frac{n}{n'}\frac{\lambda}{\lambda'} = \sqrt{\frac{T}{T'}\frac{d'}{d}\frac{\gamma}{\gamma'}}.$$

On peut appliquer cette formule de deux manières différentes.

2° *Procédé de Dulong.* — Supposons qu'on produise dans les deux gaz deux sons de *même longueur d'onde;* il suffit pour cela de faire rendre le *même harmonique* au même tuyau, dans les deux gaz différents. On a alors, d'après les lois de Bernoulli,

$$\frac{\lambda}{\lambda'} = 1$$

et

(11 *bis*) $$\frac{\gamma}{\gamma'} = \left(\frac{n}{n'}\right)^2 \frac{d}{d'}\frac{T'}{T}.$$

On n'a qu'à mesurer les hauteurs des deux sons et les températures pour avoir le rapport des coefficients caractéristiques de deux gaz de densités connues : c'est le *procédé de Dulong.*

3° *Procédé de Kundt et Warburg.* — Supposons maintenant qu'on produise dans les deux gaz deux sons de *même hauteur :* il suffit de faire résonner *à l'unisson* deux tuyaux différents. On a alors

$$\frac{n}{n'} = 1$$

et

$$\frac{\gamma}{\gamma'} = \left(\frac{\lambda}{\lambda'}\right)^2 \frac{d}{d'} \frac{T'}{T}. \quad (11\ ter)$$

On n'a qu'à mesurer les longueurs d'onde du son rendu par les deux tuyaux, ainsi que les températures, pour avoir le rapport des coefficients γ caractéristiques de deux gaz de densités connues : c'est le *procédé de Kundt et Warburg.*

4° *Application de la méthode.* — Un grand nombre d'expérimentateurs ont employé cette méthode, par l'un ou l'autre procédé, et presque tous pour le même objet théorique, celui de comparer entre elles les formules auxquelles conduit la théorie cinétique des gaz et d'en apprécier le degré de généralité. On peut les grouper autour de deux noms (en dehors de Newton, de Laplace et de Poisson, les illustres promoteurs de la formule) : celui de Dulong, qui a fait le premier une application systématique de la méthode à l'air et à d'autres gaz; celui de Kundt, qui a le premier indiqué un procédé rigoureux pour appliquer la méthode à tous les gaz et aux vapeurs, à des températures et sous des pressions quelconques [1].

5° *Objections à la méthode.* — Indépendamment des objections particulières qu'on peut faire, au point de vue expérimental, aux divers travaux exécutés d'après cette méthode, il y a deux objections qui leur sont communes, parce qu'elles s'adressent à leur principe même.

---

(1) Expériences de Dulong, *Recherches sur les chaleurs spécifiques des fluides élastiques* (*Annales de Chimie et de Physique,* 2e série, t. XLI; 1828). — Autres travaux s'y rattachant : Calculs de Masson (*loc. cit.,* 1858). — Calculs de Hirn (*loc. cit.,* 1861). — Travaux d'Assmann et examen critique des expériences de Dulong (*loc. cit.,* 1852). — Expériences de M. Tito Martini [*La velocita del suono nel cloro* (*Il Nuovo Cimento,* 3e série, t. IX; 1881)].

Expériences de A. Kundt et E. Warburg [*Ueber die specifische Wärme des Quecksilbergases* (*Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft zu Berlin,* erster Jahrgang, 1875)]. — Autres travaux s'y rattachant : expériences de M. H. Kayser [*Détermination du rapport des chaleurs spécifiques de l'air par la vitesse du son* (*Wied. Ann.,* 2e série, t. II; 1877)]. — Expériences de M. A. Wüllner [*Ueber die Abhängigkeit der specifischen Wärme der Gase bei constanten Volumen von der Temperatur und der Wärmeleitungsfährigkeit*

En effet, la correction de Laplace, qui consiste à substituer à l'élasticité E le produit $p\gamma$, suppose d'abord que le gaz est parfait; elle suppose, en outre, que les ébranlements sonores qui se propagent dans le gaz sont infiniment petits. Dans le cas où ces ébranlements sont finis, les variations de pression et de volume ne peuvent plus être considérées comme des différentielles, et, au lieu d'exprimer le coefficient d'élasticité E par l'équation

$$\text{(12)} \qquad E\left(-\frac{dv}{v}\right) = dp,$$

il faut l'exprimer par l'équation

$$\text{(12 bis)} \qquad E\left(\frac{v-v'}{v}\right) = p'-p.$$

Or, si l'on suppose que la transformation est adiabatique, on aura

$$p'-p = p\,\frac{v^\gamma - v'^\gamma}{v'^\gamma};$$

ou, en posant

$$v' = v(1-\delta),$$

$$p'-p = p[(1-\delta)^{-\gamma}-1]$$

$$= p\left[\gamma\delta + \frac{\gamma(\gamma+1)}{1.2}\delta^2 + \ldots\right],$$

d'où enfin

$$\text{(12 ter)} \qquad E = p\gamma + p\,\frac{\gamma(\gamma+1)}{1.2}\delta + \ldots.$$

La formule de la vitesse du son, corrigée, sera donc, dans le cas général des ébranlements finis,

$$\text{(10 bis)} \qquad V = \sqrt{\frac{p}{\rho}\gamma\left(1 + \frac{\gamma+1}{1.2}\delta + \ldots\right)}.$$

---

der Gase (*Wied. Ann.*, 9ᵉ série, t. IV; 1878)]. — Expériences de K. Strecker : premier Mémoire (*Wied. Ann.*, t. XIII, p. 20; 1881); deuxième Mémoire (*Wied. Ann.*, t. XVII, p. 85; 1882); — Travaux de L. Boltzmann : première Note (*Wied. Ann.*, t. XIII, p. 54; 1881); deuxième Note (*Wied. Ann.*, t. XVIII, p. 309; 1883); — Expériences de Neyreneuf [*Sur la vitesse du son dans les vapeurs* (*Annales de Chimie et de Physique*, 6ᵉ série, t. IX; 1886)]. — Expériences de R. Cohen (*Wied. Ann.*, t. XXXVII, p. 628; 1889). — Expériences de M. Jaeger (*Wied. Ann.*, t. XXXVI; 1889). — Expériences de M. J. Webster Low [*Sur la vitesse du son dans l'air, les gaz et les vapeurs pour des sons simples de diverses hauteurs* (*Wied. Ann.*, t. LII; 1894)].

La formule de Laplace proprement dite, telle qu'elle a été employée par tous les expérimentateurs, ne convient donc qu'au cas d'*ébranlements infiniment petits,* se propageant dans *le gaz parfait.* Comme l'a fait remarquer Regnault et comme il l'a démontré expérimentalement, la vitesse du son est plus grande pour les fortes intensités que pour les faibles intensités ([1]).

IX. *Autres méthodes indirectes.* — Outre la formule de la vitesse du son, qui a donné lieu aux méthodes indirectes les plus nombreuses et les plus importantes, plusieurs autres formules ont servi, ou pourraient servir, à la détermination indirecte de γ. Les unes donnent γ directement en fonction d'autres grandeurs physiques, les autres donnent directement c, la chaleur spécifique à volume constant; et, comme la chaleur spécifique à pression constante est un nombre connu, pour l'air et la plupart des gaz, elles permettent d'arriver indirectement à la connaissance de γ.

Parmi les premières, je citerai celles de la théorie cinétique des gaz. On a déduit de celle de Clausius

$$\gamma = 1,66$$

pour les gaz monoatomiques.

D'après Maxwell, les molécules gazeuses complexes, mais élastiques et sphériques, se comportent comme des atomes : on a encore

$$K = H \qquad \text{avec} \qquad \gamma = 1,66.$$

Si les molécules cessent d'être sphériques, mais restent élastiques, on a

$$H = 2K \qquad \text{avec} \qquad \gamma = 1,333.$$

Enfin, d'après Boltzmann, on a, pour les molécules diatomiques,

$$\gamma \leqq 1,33,$$

suivant que la quantité ε est $\geqq 0$, et

$$\gamma < 1,33$$

pour toutes les molécules gazeuses polyatomiques.

([1]) *Voir* J. Violle, *Traité d'Acoustique,* p. 54.

Je citerai, en outre, la formule de l'équivalent mécanique de la calorie, dont on a fait fréquemment usage.

Parmi celles qui donnent directement c, on pourrait utiliser la formule

$$\Delta U = J c (t_i - t_f), \tag{13}$$

qui exprime la variation d'énergie interne du gaz parfait, en fonction de la variation des températures entre l'état initial et l'état final. En effet, comme on a d'ailleurs, par définition,

$$\Delta U = d\mathfrak{T} - J\,dQ, \tag{14}$$

on conçoit qu'on puisse déterminer directement c en faisant subir au gaz une transformation *adiabatique*, dans des circonstances où l'on pourrait mesurer $d\mathfrak{T}$ et $(t_i - t_f)$. Cette méthode n'a pas encore été employée pour la détermination directe de c (1).

X. *Objections générales aux méthodes antérieures.* — En dehors des causes d'erreur ou d'incertitude particulières aux méthodes que j'ai énumérées ci-dessus, il y a des objections générales à leur faire, l'une d'ordre théorique et les autres d'ordre expérimental.

1° Remarquons, en premier lieu, que toutes les méthodes di-

---

(1) Emploi de la formule de l'équivalent mécanique de la calorie : Calculs de Hirn (*Théorie mécanique de la chaleur*, t. I); Calculs d'Athanase Dupré (1863); Calculs de R.-C. Nichols [*On the Determination of the specific Heat of Gases and Vapours at constant Volume* (*Philosophical Magazine*, série IV, vol. XXXXVI, p. 289 et 361; 1878)]. — Méthodes fondées sur la détermination directe de c : Projet d'expériences de C.-K. Akin [*On a new Method for the direct Determination of the specific Heat of Gase at constant Volume* (*Philosophical Magazine*, t. XXVII, 4e série; 1864)]; Expériences de Jamin et Richard (*Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. LXXI; 1870); Expériences de M. J. Joly : premier Mémoire [*On the specific Heats of Gases at constant Volume*, Part I : *Air, Carbon, Dioxide and Hydrogen* (*Phil. Trans.*, vol. CLXXXII; 1892)]; deuxième et troisième Mémoires [*On the specific Heats, etc.*, Part II : *Carbon, Dioxide* (*Phil. Trans.*, vol. CLXXXV; 1894) et Part III : *The specific Heat of Carbon, Dioxide as a function of Temperature* (*Phil. Trans.*, vol. CLXXXV; 1894)]. — Expériences de M. Silvio Lussana [*Sul Calore specifico dei Gas; Ricerche sperimentali* (*Nuovo Cim.*, 3e série, t. XXXVI; 1894)].

rectes et toutes les méthodes indirectes sont fondées sur l'application aux gaz réels de formules qui n'ont été démontrées ou admises que pour le gaz parfait. On commet donc nécessairement une erreur en substituant aux coefficients théoriques, dans ces formules, des données numériques fournies par l'expérience. Aucun des expérimentateurs, sauf Röntgen, ne paraît s'être préoccupé du défaut originel de ces méthodes, et Röntgen, qui l'a signalé nettement, n'a pas cherché à en corriger les effets. Ceux-ci sont d'autant plus marqués que l'on a introduit dans les formules des valeurs numériques plus notables des grandeurs à mesurer. On se rappelle, par exemple, que Cazin a démontré que la loi de détente des gaz réels n'est exprimée à peu près exactement par l'équation de Laplace que pour de *faibles surpressions initiales,* tandis qu'elle en diverge notablement pour des surpressions un peu fortes. L'emploi des formules adiabatiques à termes finis, qui a donné aux expérimentateurs l'*illusion* de pouvoir faire varier les paramètres dans des limites étendues, est donc *moins légitime* que l'emploi des formules approchées, à termes très petits, dont le type est la formule dite *de Clément et Desormes*

$$\gamma = \frac{h_i}{h'_i - h_m}. \tag{5}$$

2° Les objections d'ordre expérimental, qui sont communes à toutes les méthodes directes, sont relatives à l'imparfaite réalisation de deux conditions essentielles :

L'adiabatisme de la transformation (détente ou compression) que l'on fait subir aux gaz en expérience;

Le maintien de la constance des conditions ambiantes de température et de pression, pendant la durée de la transformation.

Il est vrai que les expérimentateurs ont porté leurs efforts, soit sur les précautions à prendre pour assurer l'isolement thermique de l'enceinte à gaz, soit sur la correction des effets du rayonnement extérieur, soit sur le choix des circonstances de lieu et de temps les plus favorables à la constance de la température et de la pression ambiantes; mais ils ont négligé, dans une certaine mesure, le facteur essentiel du succès, je veux dire la rapidité de l'expérience. Il est évident, en effet, que la meilleure, sinon la seule manière d'annuler ces causes d'erreur ou de les réduire au

minimum, c'est de réduire au minimum la durée totale de l'expérience.

Laplace évaluait à *une tierce sexagésimale,* c'est-à-dire à $\frac{1}{60}$ de seconde, la durée des phases de compression et de décompression successives que subit l'air atmosphérique sur le passage des ondes sonores, et c'est cette courte durée qu'il considérait comme une preuve et une condition de l'adiabatisme de la transformation. Or, on a vu précédemment combien peu les expérimentateurs ont cherché à se rapprocher de cette limite. Pour ceux qui ont appliqué directement les formules adiabatiques, la durée totale de l'expérience se réduisait à la durée de la transformation elle-même, et celle-ci ne pouvait pas descendre au-dessous du minimum qui était nécessaire pour réaliser une détente *complète* ou une détente *de grandeur donnée :* or elle n'a guère été inférieure à 0,2 ou 0,3 seconde. Pour ceux qui ont appliqué la méthode dite *de Clément et Desormes,* la durée totale de l'expérience s'allongeait de celle de la phase de retour à l'isotherme initiale : aussi était-elle de 10 minutes du temps de Gay-Lussac, et elle est allée jusqu'à 30 minutes dans les expériences si soignées de Röntgen. On conçoit que le luxe des précautions qu'on a employées pour se mettre à l'abri des variations atmosphériques n'était pas un luxe inutile.

3° Quant aux méthodes indirectes, elles n'échappent à ces dernières causes d'erreur que pour retomber dans d'autres de même nature et de même importance; car la mesure de grandeurs, telles que la vitesse du son dans les gaz ou l'équivalent mécanique de la calorie, comporte aussi certaines approximations, et celles-ci sont transportées ensuite dans la valeur de γ qu'on en déduit au moyen des formules.

TABLEAU DES VALEURS DE γ POU

GAZ ou vapeurs.	γ.	TEMPÉRATURES.	AUTEURS.
Oxygène............	1,4025	16°-20°	Müller.
	1,4150	»	Dulong.
	1,401	»	Masson.
	1,41	»	Cazin.
Hydrogène..........	1,420	»	Cazin.
	1,3852	»	Röntgen.
	1,407	»	Dulong.
	1,376	»	Masson.
	1,410	»	Jamin et Richard.
	1,4063	»	Lümmer et Pringsheim.
	1,4084		
	1,384	15°	Maneuvrier.
Azote..............	1,41	16°-20°	Cazin.
	1,401	»	Masson.
Chlore.............	1,323	20°-340°	Strecker.
	1,336	0°	Martini, 1881.
Brome.............	1,1293	20°-388°	Strecker, 1881.
Acide chlorhydrique.	1,3980	19°-41°	Müller.
	1,389	20°	Strecker, 1882.
	1,400	100°	
	1,392	»	Masson.
Acide iodhydrique...	1,397	20°	Strecker.
	1,396	109°	

GAZ ou vapeurs.	γ.
Acide bromhydrique.	1,3647
	1,422
	1,440
Oxyde de carbone....	1,40320
	1,39465
	1,41
	1,428
	1,409
Acide carbonique....	1,30
	1,3052
	1,292
	1,299
	1,2653
	1,2940
	1,2961
	1,338
	1,3113
	1,40289
	1,40496
	1,29
	1,298
Protoxyde d'azote...	1,3106
	1,27238
	1,267
	1,285
Acide sulfureux.....	1,262
	1,2562
	1,248

(1) Ces nombres ont été pris en partie dans les Mémoires originaux, en partie dans les Tables de Landolt et Bornstei

LES DIVERS GAZ ET VAPEURS [1].

PÉRA-RES.	AUTEURS.
-38°	Müller.
0°	Strecker.
00°	
0°	Wüllner.
00°	
»	Cazin.
»	Dulong.
»	Masson.
»	Masson.
»	Röntgen.
»	De Lucchi.
»	Amagat.
»	Müller.
»	Lümmer et Pringsheim.
»	Dulong.
0°	Wüllner.
00°	
8°	
»	Jamin et Richard.
»	Maneuvrier.
0°	Wüllner.
00°	
»	Masson.
»	Cazin.
»	Cazin.
-34°	Müller.
»	Masson.

GAZ ou vapeurs.	γ.	TEMPÉRATURES.	AUTEURS.
Acide sulfhydrique..	1,2759	10°-40°	Müller.
	1,258	»	Masson.
Ammoniac..........	1,2622	21°-40°	Müller.
	1,3172	0°	Wüllner.
	1,2770	100°	
	1,328	»	Cazin.
	1,300	»	Masson.
Méthane...........	1,3160	11°-30°	Müller.
	1,315	»	Masson.
Éthylène..........	1,2430	22°-38°	Müller.
	1,24548	0°	Wüllner.
	1,1870	100°	
	1,240	»	Dulong.
	1,257	»	Masson.
	1,257	»	Cazin.
Mercure............	1,66	275°-356°	Kundt et Warburg.
Phosphore..........	1,175	300°	De Lucchi.
Eau................	1,277	103°-104°	De Lucchi.
	1,287	144°-310°	Cohen.
	1,321	100°	Neyreneuf, 1886.
Alcool.............	1,14	80°	Id.
Éther..............	1,093	35°	Id.

ans les Tableaux du Mémoire de M. Silvio Lussana.

TABLEAU GÉNÉRAL DES DIVERSES VALEURS DE γ POUR L'AIR

(DANS LES CONDITIONS ORDINAIRES DE TEMPÉRATURE ET DE PRESSION VERS 15° ET 76mm) (1).

MÉTHODES DIRECTES.

Méthode dite de Clément et Desormes.

	Auteurs.	Dates.
1,355	Laplace	1822
1,372 1,3748	Gay-Lussac et Welter	1822
1,33 1,39	Assmann	1852
1,4196	Masson	1858
1,4025	Weisbach	1859
1,3845	Hirn	1861
1,40	Ath. Dupré	1863
1,372	Tresca et Laboulaye	1865
1,41 1,407	Cazin	1862 1869
1,302	F. Kolhrausch	1869
1,4053	Röntgen	1873
1,4038	Paquet	1885

Application directe de la formule de Laplace.

	Auteurs.	Dates.
1,314	Witte	1869
1,391 1,397	Amagat	1873

Application indirecte de la formule de Laplace.
(Oscillations adiabatiques d'une colonne mercurielle.)

1,421 1,427	Assmann	1852
1,4046	Müller	1883

Application directe des autres formules adiabatiques.

1,3840	Lummer et Pringsheim.	1887
1,3994 1,4015	....	1894

Application de la formule de Reech modifiée.

1,3924	Maneuvrier	1895

MÉTHODES INDIRECTES.

Application de la formule de la vitesse du son.

	Auteurs.	Dates.
1,4254	Poisson	1807
1,421	Dulong	1828
1,413	Assmann	1852
1,414	Masson	1858
1,4132	Hirn	1862
1,3945	Regnault	1870
1,4106	Kayser	1877
1,40496	Wüllner	1878
1,3987	Violle et Vautier	1890

Variation de γ avec la température.

A 0°...	1,40526	Wüllner	1878
A 100°.	1,40289		
A 18°..	1,40496		

Application de la formule de l'équivalent mécanique de la calorie.

	Auteurs.	Dates.
1,39335	Ath. Dupré	1863
1,409 1,4105	Nichols	1873

Déterminations séparées de C et de c.

1,41	Jamin et Richard	1870
1,3856	J. Joly 1892	(C=0,237, Regnault).
1,3926		(C=0,2389, Wiedemann).
1,3822		(C=0,2371 Lussana).

Variation de γ avec la pression.

A 1 atm.	1,3822	c... Joly C... Lussana.	1892 1894
A 17 atm.	1,60	c... Joly C... Lussana.	

(1) Ces nombres ont été pris directement dans les Mémoires originaux.

Quelques illusions d'Optique;

PAR M. ÉMILE JAVAL.

Plusieurs illusions d'Optique me paraissent ressortir d'un même système d'explications, que j'exposerai après avoir décrit quelques cas particuliers.

1° Il y a trente-cinq ans, F. Zöllner publiait une série de dessins analogues à celui de la *fig.* 1, et depuis cette époque, ont paru des explications, d'autant plus ingénieuses qu'elles sont moins exactes, du remarquable phénomène par lequel les deux lignes épaisses de ce dessin, qui sont rigoureusement parallèles, paraissent diverger vers le haut.

Sur la *fig.* 2, le même phénomène apparaît encore plus nettement; mais ici ce n'est plus une illusion, car le dessinateur a représenté correctement un bâtiment de forme bizarre, dont la partie la plus éloignée est plus large que le pignon le plus voisin. Un bâtiment analogue, de forme rectangulaire, serait représenté par la *fig.* 3, où la perspective a été observée. Le spectateur a donc raison de dire que les lignes de la *fig.* 3 *représentent* des lignes parallèles. De là, il n'y a qu'un pas pour dire qu'elles *sont* parallèles et que, par conséquent, les lignes similaires de la *fig.* 2 ne sont pas parallèles (alors qu'elles le sont en réalité). C'est par une assimilation involontaire qu'on est conduit à croire que les lignes de la *fig.* 1 ne sont pas parallèles.

Tout dessin représentant des objets réels en perspective doit altérer les dimensions des lignes et leurs angles. Il en résulte que, habitués à regarder les objets, nous sommes enclins à faire des rectifications des images que nous en recevons, rectifications systématiques dont la persistance explique la pseudoscopie de Zöllner.

2° La *fig.* 4 produit une illusion non moins frappante : il faut les mesurer pour être sûr que les lignes AB, CD sont rigoureusement égales [1].

---

[1] Cette illusion a fait, en 1891, le tour de la presse quotidienne et a

Voici mon explication : qu'on se reporte à la *fig.* 6, on aura peine à croire que les lignes MN et OP sont parfaitement égales, car on sait bien que l'armoire est moins haute que la chambre. Je prie de remarquer que, sur ce dessin, les extrémités de la ligne MN aboutissent à des lignes analogues à celles qui sont aux extrémités de la ligne AB de la *fig.* 4. Même analogie entre les lignes CD et OP des *fig.* 4 et 6. Or, il serait facile de multiplier les exemples

Fig. 1 à 5.

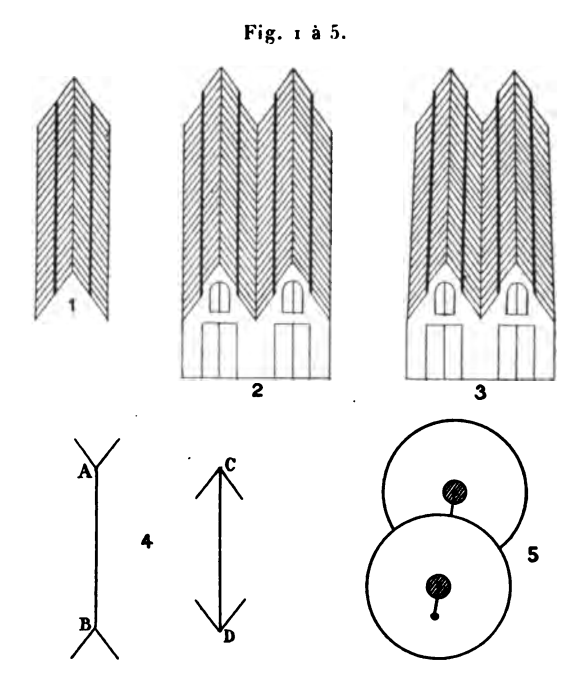


Fig. 1, 2 et 3. Illusion des lignes parallèles. — Fig. 4. Illusion sur la longueur des lignes. — Fig. 5. Illusion des cercles.

analogues et de remarquer que, quand nous regardons les objets qui nous environnent, la disposition CD se rencontre souvent pour des lignes verticales voisines, tandis que la disposition AB ne s'offre à nos regards que pour des lignes lointaines telles que MN

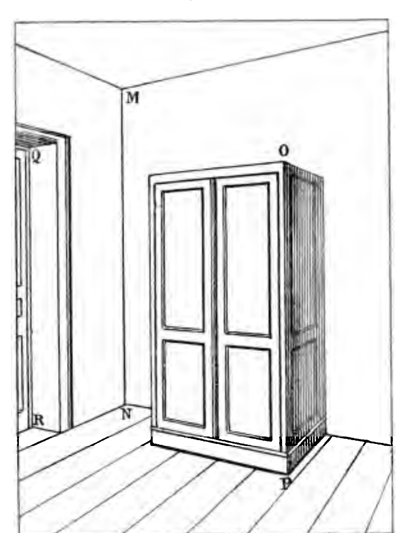
---

donné lieu à de nombreuses tentatives d'explication. *Voir* notamment Franz Brentano (de Vienne) in *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnes Organe*, 31 mai 1892 et Delbœuf, *Bulletin de l'Académie Royale de Belgique*, 3e série, t. XXIV, n° 12, p. 545-558; 1892.

et QR de la *fig.* 6. Donc, dans notre besoin de connaître la dimension réelle et non la grandeur apparente des objets, nous prenons l'habitude d'estimer plus courtes les lignes du système CD que celles du système AB, et nous conservons cette habitude quand sa raison d'être n'existe plus, par exemple quand nous regardons la *fig.* 4.

3° Le D[r] Green, de Saint-Louis (Missouri), a fait connaître une jolie illusion fournie par la *fig.* 5. Le cercle supérieur paraît plus grand que le cercle inférieur et l'explication est analogue aux pré-

Fig. 6.



Illusion des lignes verticales.

cédentes : on ne peut s'empêcher de penser que l'image représente deux disques en papier à travers lesquels on a piqué une épingle, servant d'essieu à deux roues qui, si elles étaient égales, devraient être figurées inégales sur le dessin. Cette expérience de Green est encore rehaussée quand, au lieu d'un dessin, on en fait deux, destinés à être vus dans un stéréoscope (¹).

Toutes les illusions d'Optique dont il vient d'être question et

(¹) Voir *Pl. F* de mon *Manuel de strabisme,* Paris, Masson; 1896.

d'autres analogues me paraissent s'expliquer ainsi : Quand des lignes tracées sur un plan affectent des dispositions analogues à celles que l'œil est habitué à rencontrer dans la représentation perspective d'objets, l'appréciation des dimensions et des positions de ces lignes est faussée par l'interprétation habituellement évoquée par des lignes ainsi disposées (1).

---

(1) Les illusions dont il a été question ici présentent cette particularité de disparaître à peu près complètement si l'on fait usage d'un éclairage instantané pour observer les dessins. Elles augmentent, au contraire, quand on parcourt la figure du regard. Cette remarque, déjà ancienne, vient à l'appui de mon explication.

OUVRAGES REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ

PENDANT L'ANNÉE 1895.

Actes de la Société scientifique du Chili, fondée par un groupe de Français. — 5e année, t. V, 1895; in-4°.

Almanach-Annuaire de l'Électricité et de l'Électrochimie. — Année 1895. Publié par M. Firmin Leclerc; vol. in-18.

American Journal of Science (the). — 3e série, vol. XLIX et L, 1895; in-8°.

Annalen der Physik und Chemie, neue Folge. — Band LIV, LV und LVI, 1895; in-8°.

Annales de Chimie et de Physique. — 7e série, t. IV, V et VI, 1895; 3 vol. in-8°.

Annales de la Faculté des Sciences de Marseille. — T. V, 1895; 1 vol. in-4°.

Annales de l'École polytechnique de Delft. — T. IX, 1895; in-4°.

Annales de l'Institut météorologique de Roumanie. — Publié par S.-C. Hepitès, t. IX, 1893; 1 vol. in-4°.

Annales de la Société scientifique de Bruxelles. — Année 1895; 1 vol. in-8°.

Annales télégraphiques. — 3e série, t. XXII, année 1895; in-8°.

Annuaire pour l'an 1895 avec des Notices scientifiques. — Publié par le Bureau des Longitudes. Paris, Gauthier-Villars et fils; in-18.

Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève. — T. XXXII, 1895; in-8°.

Archives d'Électricité médicale, expérimentale et clinique. — Publiées par J. Bergonié, 3e année, 1895; 1 vol. in-8°.

Astronomical Society of the Pacific (publications of the). — T. VII, 1895; in-8°.

Astronomy and astro-physics, vol. XIV, année 1895. Charleton College Northfield, Minn.; in-8°.

Beiblätter zu den Annalen der Physik und Chemie. — Band XIX, 1895; in-8°.

TABLEAU DES VALEURS DE γ PO

GAZ ou vapeurs.	γ.	TEMPÉRA-TURES.	AUTEURS.
Oxygène	1,4025	16°-20°	Müller.
	1,4150	»	Dulong.
	1,401	»	Masson.
	1,41	»	Cazin.
Hydrogène	1,420	»	Cazin.
	1,3852	»	Röntgen.
	1,407	»	Dulong.
	1,376	»	Masson.
	1,410	»	Jamin et Richard.
	1,4063 1,4084	»	Lümmer et Pringsheim.
	1,384	15°	Maneuvrier.
Azote	1,41	16°-20°	Cazin.
	1,401	»	Masson.
Chlore	1,323	20°-340°	Strecker.
	1,336	0°	Martini, 1881.
Brome	1,1293	20°-388°	Strecker, 1881.
Acide chlorhydrique	1,3980	19°-41°	Müller.
	1,389	20°	Strecker, 1882.
	1,400	100°	
	1,392	»	Masson.
Acide iodhydrique	1,397	20°	Strecker.
	1,396	109°	

GAZ ou vapeurs.	γ.
Acide bromhydrique	1,3647
	1,422
	1,440
Oxyde de carbone	1,4032
	1,3946
	1,41
	1,428
	1,409
	1,30
	1,3052
Acide carbonique	1,292
	1,299
	1,2653
	1,2940
	1,2961
	1,338
	1,3113
	1,40289
	1,4049
	1,29
	1,298
Protoxyde d'azote	1,3106
	1,27238
	1,267
	1,285
Acide sulfureux	1,262
	1,2562
	1,248

(1) Ces nombres ont été pris en partie dans les Mémoires originaux, en partie dans les Tables de Landolt et Bornstei

LES DIVERS GAZ ET VAPEURS [1].

…PÉRA-…RES.	AUTEURS.
•-38°	Müller.
20° / 00°	Strecker.
0° / 00°	Wüllner.
»	Cazin.
»	Dulong.
»	Masson.
»	Masson.
»	Röntgen.
»	De Lucchi.
»	Amagat.
»	Müller.
»	Lümmer et Pringsheim.
»	Dulong.
0° / 00° / 18°	Wüllner.
»	Jamin et Richard.
»	Maneuvrier.
0° / 00°	Wüllner.
»	Masson.
»	Cazin.
»	Cazin.
•-34°	Müller.
»	Masson.

GAZ ou vapeurs.	γ.	TEMPÉRATURES.	AUTEURS.
Acide sulfhydrique..	1,2759	10°-40°	Müller.
	1,258	»	Masson.
Ammoniac..........	1,2622	21°-40°	Müller.
	1,3172	0°	Wüllner.
	1,2770	100°	Wüllner.
	1,328	»	Cazin.
	1,300	»	Masson.
Méthane............	1,3160	11°-30°	Müller.
	1,315	»	Masson.
Éthylène..........	1,2430	22°-38°	Müller.
	1,24548	0°	Wüllner.
	1,1870	100°	Wüllner.
	1,240	»	Dulong.
	1,257	»	Masson.
	1,257	»	Cazin.
Mercure............	1,66	275°-356°	Kundt et Warburg.
Phosphore..........	1,175	300°	De Lucchi.
Eau................	1,277	103°-104°	De Lucchi.
	1,287	144°-310°	Cohen.
	1,321	100°	Neyreneuf, 1886.
Alcool..............	1,14	80°	Id.
Éther...............	1,093	35°	Id.

…lans les Tableaux du Mémoire de M. Silvio Lussana.

lungen der Physikalisch-technischen Reichsanstalt. Band I. Berlin, Julius Springer, 1894; 1 vol. in-4°.

— 5e Bericht über die Thätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt (December 1892 bis Februar 1894) (Ext. *Zeitschrift für Instrumentenkunde;* 1894). In-8°.

— Die Thätigkeit der physikalisch-technischen Reichsanstalt in der Zeit vom 1 März 1894 *bis* 1 april 1895 (Extr. *Zeitschrift für Instrumentenkunde,* 1895, August.). Br. in-4°.

Proceedings and Transactions of the Nova Scotian Institute of natural Science of Halifax, Nova Scotia. — Vol. I, IV. Part I et II, 1890-1891; et Part III, 1892-1893; in-8°.

Proceedings of the Physical Society of London. — Vol. XII, Part IV et Vol. XIII, Part I; in-8°.

Proceedings of the American Academy of Arts and Science. — New series, vol. XX. Whole series, vol. XXVIII, from may 1892 to may 1893 and vol. XXIX, from may 1893 to may 1894; 2 vol. in-8°.

Proceedings of the American Philosophical Society held at Philadelphia for promoting useful knowledge. — Vol. XXI, nos 140 à 142, année 1893; in-8°.

Proceedings of the Royal Society. — Vol. LVII et LVIII, 1895; in-8°.

Proceedings of the Royal Society of Edinburgh. — Vol. XIX, 1891-1892. In-8°.

Publications of the Lick Observatory. Vol. II, 1894 et vol. III, 1894; in-4°.

Revue générale des Sciences pures et appliquées. — Publiée par M. Louis Olivier, 6e année, 1895; in-4°.

Revue industrielle (la). — Année 1895; in-4°.

Revue des questions scientifiques. — Publiée par la Société scientifique de Bruxelles. T. I à III et t. V, 1894. T. I, 2e livraison, avril 1892, et t. III à VI, 1892-1894; in-8°.

Rosprawy Akademii Umiejetnosci Wydziall Matematyczno-Przyrodciczy. (Académie des Sciences de Cracovie.) — Seyria 2, t. VI. Krakowie, 1893; 1 vol. in-8°.

Royal Institution of Great Britain. — Weekly evening Meeting friday, 24 may 1895. In-8°.

Scientific Proceedings of the Royal Dublin Society (The).— Vol. VIII, Part 1 et 2; in-8°.

Scientific Transactions of the Royal Dublin Society (The). — Vol. V, Part 1 à 4; in-4°.

Smithsonian Institution. — Annual Report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution showing the operations, expenditures, and condition of the Institution for the year ending june 30, 1891 and the year ending june

1892. Report of the U. S. National Museum. — Washington, Government Printing office, 1892; 2 vol. in-8°.

Société nationale d'encouragement pour l'Industrie nationale.— Procès-verbaux des séances. Année 1895; in-8°.

Technology quarterly and Proceedings of the Society of Arts. — Vol. VI, 1893 et vol. VII, 1894; in-8°.

Transactions of the Royal Society of Edinburgh. — Vol. XXXVII, Part 1 et 2, 1893; 2 vol. in-4°.

Transactions of the technical Society of the Pacific Coast. — Francisco, California. Vol. X, n° 12, january 1894; in-8°.

United States Coast and Geodetic Survey. — Bulletin, n°s 28 à 31, 1893-1894; in-4°.

United States Coast and Geodetic Survey. — Report of the Superintendent of the U. S. Coast and geodetic Survey for the fiscal year ending June 30, 1891, in two Part. Part II. Appendices relating to the methods, discussions and results of the Coast and geodetic Survey. Washington, Government printing office, 1892; 1 vol. in-8°.

Verhandlungen der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin. — Jahrg. 13, 1894 und Jahrg. 14, 1895, in-8°.

Baume-Pluvinel (A. de la). — La théorie des procédés photographiques (*Encyclopédie des Aide-Mémoire*). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1895; petit in-8°.

Bianchedi (G.). — I disastri ferroviari ed i mezzi atti ad evitarli. Sistema elettrico Bianchedi per la sicurezza dei convogli nelle strade ferrate e per la manovra centrale degli scambi e dei segnali. Firenze, Ciardelli, 1895; br. in-4°.

Bjerknes (V.). — Verschiedene Formen der multiplen Resonanz (Extr. *Annalen der Phys. und Chemie,* Band LIV, 1895); br. in-8°.

— Ueber elektrische Resonanz (Extr. *Ann. der Phys. und Chemie,* Band LIV, 1895); br. in-8°.

Blondel (André). — Photometric Magnitudes and Units (Extr. *The Electrician,* 1894); br. in-8°.

— Transport et distribution de l'énergie. Théorie des moteurs synchrones à courants alternatifs simples et polyphasés. Paris, Lahure, 1895; br. in-8°.

Borgmann. — Leçons d'Électricité et de Magnétisme. Saint-Pétersbourg, t. II, 1895; 1 vol. in-8° (en russe).

Boys (C.-V.). — On the Newtonian constant of gravitation (Extr. *Phil. Trans. of Royal Society of London,* vol. 186, 1895); br. in-4°.

Branly (Ed.). — Traité élémentaire de Physique. Paris, Ch. Poussielgue, 1895; 1 vol. in-8°.

Brillouin (Marcel). — Nouvelles mesures de l'intensité de la pesanteur par M. von Sterneck (Extr. du *Bulletin astronomique*, octobre 1895); br. in-8°.

Brunhes (**Bernard**). — Cours élémentaire. Lois expérimentales et principes généraux. Introduction à l'Électrotechnique. Leçons professées à l'Institut industriel du Nord de la France. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1895; 1 vol. in-8°.

Camichel (**Charles**). — Étude expérimentale sur l'absorption de la lumière par les cristaux (Thèse). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1895; br. in-4°.

Cazes (**L.**). — Stéréoscope de précision. Paris, Michelet, 1895 et Ph. Pellin. 1 vol. in-8°.

Cavaillé-Coll (**Aristide**). — Études expérimentales sur les tuyaux d'orgues. Mémoire présenté à l'Académie des Sciences, le 24 février 1840. Paris, E. Plon, Nourrit et Cie, 1895; br. gr. in-8°.

Cellérier (**Gustave**). — Théorèmes généraux de Thermodynamique et leur application aux corps élastiques (Ext. des *Mémoires de la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève*, t. XXXII, première Partie, n° 5). Genève, Aubert-Schuchardt, 1895; br. in-4°.

Dariès (**G.**). — Cubature des terrasses et mouvement des terres (*Encyclopédie des Aide-Mémoire*). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1895; 1 vol. petit in-8°.

Fabry (**Ch.**). — Sur le passage de la lumière à travers une lame mince dans le cas de la réflexion totale (Extr. des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1895); br. in-4°.

Foveau de Courmelles. — L'Électricité médicale au XIXe siècle. Pradon, 1894; br. in-8°.

— Sur l'ozone (Extr. du *Bulletin de l'Acad. Roy. de Belgique*, 1894); br. in-8°.

— Mémoire sur l'ozone atmosphérique (Ext. du *Bulletin de la Société française d'Hygiène*, t. XX, 1895); in-4°.

— Les bains électrisés (Ext. *Revue illustrée de Polytechnique médicale*, 1893); in-8°.

— L'Électroscopie, examen électrique de l'appareil digestif (Extr. *Revue illustrée de Polytechnique médicale*, 1893); in-8°.

— Électricité curative. Paris, G. Delarue, 1895; 1 vol. in-8°.

Gerard (**Eric**). — Mesures électriques. Leçons professées à l'Institut électrotechnique Montefiore, annexé à l'Université de Liège. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1895; 1 vol. in-8°.

Hatt. — Des marées (*Encyclopédie des Aide-Mémoire*). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1895; petit in-8°.

Hesehus (**N.**). — Sur la détermination de la chaleur spécifique d'un corps par la méthode des mélanges à température constante (Ext. du *Journal de Physique*, t. VII, 1888); br. in-8°.

— Ueber Brechung und Geschwindigkeit des Schalles in porösen, den Schall durchlassenden Körpern (Ext. *Rep. der Physik*).

— La conductibilité et la capacité sonore des corps (en russe), 1893; br. in-8°.

— Le photomètre à écran Bunsen incliné avec trois taches (en russe); br. in-8°.

— La théorie de la conductibilité sonore (en russe); br. in-8°.

Jaumann (G.). — Inconstanz des Funkenpotentials (Extr. *Akad. der Wissensch. in Wien,* 1895); br. in-8°.

— Longitudinales Licht (Extr. *Akad. der Wissensch. in Wien,* Juli 1895); in-8°.

Joly (N.) et **Fleury (E.).** — Guide-Annuaire général des Industries : gaz, eaux, électricité, édité par le journal *Revue gaz et électricité.* Paris, Schiller, 1895; 1 vol. in-8°.

Léauté (H.) et **Bérard (A.).** — Transmissions par câbles métalliques (*Encyclopédie des Aide-Mémoire*). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1895; 1 vol. petit in-8°.

Leduc (A.). — Cours de Travaux pratiques à l'usage des candidats au certificat d'Études physiques, chimiques et naturelles. Manipulations de Physique. Paris, J.-B. Baillière, 1895; 1 vol. in-8°.

Leloutre (G.). — Le fonctionnement des machines à vapeur (*Encyclopédie des Aide-Mémoire*). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1895; petit in-8°.

Limb (Claudius). — Mesure directe des forces électromotrices en unités absolues électromagnétiques (Thèse). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1895; br. in-4°.

— Essai sur la préparation du baryum métallique (Thèse). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1895; 1 vol. in-4°.

Lussana (Silvio). — Sul calore specifico dei gas. Pise, Pieraccini, 1895; br. in-8°.

— Anomalia nella resistenza elettrica delle soluzioni in corrispondenza alla temperatura del massimo di densita (Extr. della *R. Accad. dei Fisiocritici,* série IV, vol. VII, 1895).

— Influenza della pressione sulla temperatura di trasformazione (Extr. *Nuovo Cimento,* 4ᵉ série, vol. I, 1895); br. in-8°.

— Sul potere termoelettrico degli elettroliti (Extr. *Nuovo Cimento,* 1894); br. in-8°.

Macé de Lépinay. — Sur la détermination de la masse du décimètre cube d'eau distillée à 4° (Extr. des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences,* avril 1895); in-4°.

— Description d'un goniomètre construit par MM. Brunner pour la Faculté des Sciences de Marseille (Extr. *Ann. de la Faculté des Sciences de Marseille,* t. V, fasc. II, 1895); br. in-4°.

— Mesures optiques d'étalons d'épaisseur (Extr. des *Annales de Chimie et de Physique,* 7ᵉ série, t. V, juin 1895); br. in-8°.

Maindron (**Ernest**). — L'ancienne Académie des Sciences. Académiciens : 1666-1793. Paris, Tignol, 1895; br. in-8°.

Margot (**Charles**). — Nouvelles recherches sur les phénomènes d'adhérence au verre de l'aluminium et de quelques autres métaux (Extr. des *Archives des Sciences physiques et naturelles*, t. XXXIII, 1895); br. in-8°.

— Curieux phénomènes d'adhérence au verre de l'aluminium et de quelques autres métaux (Extr. des *Archives des Sciences physiques et naturelles*, t. XXXII, 1894); br. in-8°.

Metz (**G.-G. de**). — Détermination de la constante q au moyen de la machine d'Atwood (Extr. du *Journal de la Soc. phys.-chimique russe de Saint-Pétersbourg*, 1895); br. in-8° en russe.

Niewenglowski (**G.-H.**). — Applications scientifiques de la Photographie (*Encyclopédie des Aide-Mémoire*). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1895; 1 vol. petit in-8°.

Niewenglowski (**G.-H.**) et **Ernault** (**A.**). — Les couleurs et la photographie, reproduction photographique directe et indirecte des couleurs (*Historique, théorie, pratique*). Paris, Société d'éditions scientifiques, 1895; 1 vol. in-8°.

Paulsen (**Adam**). — Effet de l'humidité de l'air et action du champ magnétique terrestre sur l'aspect de l'aurore boréale [Extr. *Bull. de l'Acad. Roy. des Sciences et Lettres de Danemark* (*Copenhague*), pour l'année 1895]; br. in-8°.

Pellat (**H.**). — Électrostatique non fondée sur les lois de Coulomb. Forces électriques agissant à la surface de séparation de deux diélectriques (Extr. des *Annales de Chimie et de Physique*, 7° série, t. IV, 1895); br. in-8°.

Pernet (**J.**), **Jaeger** (**W.**) und **Gumlich** (**E.**). — Herstellung und Untersuchung der Quecksilber Normalthermometer (Ext. *Phys.-Tech.* Reichsanstalt, 1895); br. in-4°.

Pérot (**A.**). — Distribution et utilisation de l'énergie électrique, 2° année du *Cours de Physique industrielle*. Marseille, Paul Ruat, 1894-95, 3° et 4° livraisons; in-8°.

Pictet (**Raoult**). — Ueber die kritische Temperatur als Kriterium chemischer Reinheit (Extr. *Physikalische Gesellschaft zu Berlin*). Jahrg. 14, n° 1; br. in-8°.

Piltschikoff (**N.**). — Nouvelles photographies de l'éclair (Extr. des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, juillet 1895); in-4°.

Pionchon (**J.**). — Électricité industrielle. Leçons sur les notions fondamentales relatives à l'étude et à la mesure de l'énergie électrique. Bordeaux, J. Laurens, 1894.

Poincaré (**H.**). — Électricité et optique. I. Les théories de Maxwell et la théorie électromagnétique de la lumière. Leçons professées pendant le second semestre 1888-89, rédigées par M. J. Blondin. Paris, G. Carré, 1890; 1 vol. in-8°.

— Thermodynamique. Leçons professées pendant le 1er semestre 1888-89, rédigées par M. J. Blondin. Paris, G. Carré, 1892; 1 vol. in-8°.

Raffard (**N.-J.**). — Considérations sur les phénomènes du frottement dans les machines (Extr. des *Publications technologiques de la Société des anciens Élèves des Écoles nationales d'Arts et Métiers,* août 1895); br. in-8°.

Rayleigh (**Lord**). — On Argon (Extr. *Royal Institution of Great Britain, weekly evening Meeting Friday,* april 5, 1895); br. in-8°.

Rocques (**X.**). — Analyse des alcools et des eaux-de-vie (*Encyclopédie des Aide-Mémoire*). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1895; 1 vol. petit in-8°.

Saintignon (**F. de**). — Nouvelle théorie des marées. Le mouvement différentiel. Paris, Berger-Levrault et Cie, 1895; br. in-4°.

Salisbury (**Marquis de**). — Discours sur les limites actuelles de notre Science, traduit en français avec l'autorisation de l'Auteur, par M. W. de Fonvielle. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1895; br. petit in-8°.

Sidersky (**D.**). — Polarisation et saccharimétrie (*Encyclopédie des Aide-Mémoire*). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1895; 1 vol. petit in-8°.

Sorel (**E.**). — La distillation (*Encyclopédie des Aide-Mémoire*). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1895; petit in-8°.

Soret (**Charles**). — Coefficients rotationnels de conductibilité thermique dans les cristaux (Extr. des *Archives des Sciences physiques et naturelles,* t. XXXII, 1894); br. in-8°.

Stoletow. — Traité d'Acoustique et d'Optique (en russe). Moscou, 1895; 1 vol. in-8°.

Thompson (**Silvanus P.**). — L'électro-aimant et l'électromécanique. Ouvrage traduit et adapté de l'anglais par M. E. Boistel. Paris, J. Fritsch, 1895; 1 vol. in-8°.

Vallier. — Balistique des nouvelles poudres (*Encyclopédie des Aide-Mémoire*). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1895; petit in-8°.

Vaschy (**A.**). — Théorie de l'Électricité. Exposé des phénomènes électriques et magnétiques fondés uniquement sur l'expérience et le raisonnement. Paris, Baudry et Cie, 1895; 1 vol. in-8°.

Violle (**J.**). — Verdet (Extr. *Centenaire de l'École Normale.* Paris, Hachette et Cie, 1895); br. in-4°.

Witz (**Aimé**). — Cours élémentaire de manipulations de Physique à l'usage des Candidats aux Écoles et au certificat des Études physiques et naturelles. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1895; 1 vol. in-8°.

Worthington (**A.-M.**). — The Splash a Drop and allied phenomena (Extr. *Royal Institution of Great Britain,* 1894); br. in-8°.

Wyrouboff (**G.**). — François-Ernest Mallard (Extr. du *Bulletin de la Société française de Minéralogie,* t. XVII, 1894); br. in-8°.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

LISTE DES MEMBRES.

ANNÉE 1896.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

44, RUE DE RENNES, 44.

(1896).

BUREAU.

MM. BOUTY, *Président.*
BECQUEREL, *Vice-Président.*
PELLAT, *Secrétaire général.*
CARVALLO, *Secrétaire.*
JANET, *Vice-Secrétaire.*
GAY (J.), *Archiviste-Trésorier.*

CONSEIL.

Membres résidants :

MM. BLONDEL. 1894.
COLARDEAU.
FRON.
HILLAIRET.

BOUDRÉAUX. 1895.
CURIE (P.).
MASSIEU.
POINCARÉ (A.).

BERTIN. 1896.
COMBES (A.).
MANEUVRIER.
DE LA TOUANNE.

Membres non résidants :

MM. LOUGUININE (Moscou). 1894.
MICHELSON (A.) (Chicago).
PÉROT (Marseille).
PIONCHON (Grenoble).

DUHEM (Bordeaux). 1895.
MESLIN (Montpellier).
MONTEFIORE (Levi) (Bruxelles).
WIEDEMANN (E.) (Erlangen).

DVOŘÁK (Agram). 1896.
JOUBIN (Besançon).
MATHIAS (Toulouse).
OUMOFF (Moscou).

ANCIENS PRÉSIDENTS.

1873.	MM. FIZEAU.
1874.	BERTIN.
1875.	JAMIN.
1876.	QUET.
1877.	BECQUEREL (Ed.).
1878.	BLAVIER.
1879.	BERTHELOT.
1880.	MASCART.
1881.	CORNU.
1882.	GERNEZ.
1883.	JANSSEN.
1884.	POTIER.
1885.	MAREY.
1886.	SEBERT.
1887.	WOLF.
1888.	ROMILLY (de).
1889.	MASCART.
1890.	MALLARD.
1891.	FRIEDEL.
1892.	VIOLLE.
1893.	LIPPMANN.
1894.	JOUBERT.
1895.	CAILLETET.

MM. ALMEIDA (d'), *Secrétaire général, Fondateur* (1873-1880).
JOUBERT, *Secrétaire général honoraire* (1880-1890).
NIAUDET, *Trésorier-Archiviste honoraire* (1875-1882).
MAURAT, *Trésorier-Archiviste honoraire* (1883-1890).

MEMBRES HONORAIRES [1].

MM. **FIZEAU (A.-H.-L.)**, Membre de l'Institut.

STOKES (G.-G.), Professeur à l'Université de Cambridge (Angleterre).

KELVIN (Sir William Thomson, Lord), F. R. S., Professeur à l'Université de Glasgow (Écosse).

BELL (Alex. Graham), de Washington (États-Unis).

BERTHELOT (M.), Sénateur, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.

JANSSEN (J.), Membre de l'Institut.

BERTRAND (J.), Membre de l'Académie Française, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.

ROWLAND (H.-A.), Professeur à l'Université Johns Hopkins, à Baltimore (États-Unis).

CORNU (M.-A.), Membre de l'Institut.

MASCART (E.-E.-N.), Membre de l'Institut.

DONATEURS [2].

COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI (Baron d'EICHTHAL)	fr 2 000
COMPAGNIE DES SALINS DU MIDI	1 000

---

(1) *Membres honoraires décédés :*

MM. A. Becquerel.	1874-78.
V. Regnault.	1876-78.
Secchi.	1876-78.
Billet.	1876-82.
Plateau.	1880-83.
Jamin.	1882-86.
Edlund.	1884-88.
Broch.	1878-89.
Joule.	1878-89.
Hirn.	1890-90.
Ed. Becquerel.	1882-91.

Extrait des Statuts, Art. IV. — Le titre de Membre honoraire est conféré comme un hommage et une distinction particulière à des physiciens éminents de la France et de l'étranger.

Les Membres honoraires ont voix délibérative dans les séances de la Société et du Conseil. Ils sont nommés par la Société à la majorité des voix, sur la présentation du Conseil.

Il ne peut en être nommé plus de deux chaque année.

Leur nombre est de dix au plus.

(2) Les noms des personnes qui auront donné à la Société une somme supérieure

MM. **ANONYME** (pour aider à la publication des Mémoires)..... 5000fr
GUEBHARD, agrégé à la Faculté de Médecine de Paris (pour l'amélioration de la Bibliothèque)..................... 10000
ANONYME (pour aider à la publication du volume des constantes)... 5000
JENNESSON, Principal de Collège (Legs)................. 500
ANONYME (Solde des comptes de la Société chez MM. Gauthier-Villars et fils)................................... 5547,50
BISCHOFFSHEIM, Membre de l'Institut.................. 1500
SAUTTER et **LEMONNIER**, Une machine dynamo.
ANONYME.. 1000
JEUNET, Ancien Professeur au Lycée d'Angoulême.... ... 500
ROTHSCHILD (Baron Edmond de)...................... 300

MEMBRES A VIE (1).

MM. D'Abbadie, Membre de l'Institut, 120, rue du Bac.
* Abria, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.
* D'Almeida, Inspecteur général de l'Instruction publique, Secrétaire général de la Société.
Alvergniat, Constructeur d'instruments de physique, 10, rue de la Sorbonne.
Amagat, Correspondant de l'Institut, Répétiteur à l'École Polytechnique, 34, rue Saint-Lambert.
Angot, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 12, avenue de l'Alma.
Arnoux (René), Ingénieur civil, 16, rue de Berlin.
Arsonval (Dr d'), Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, 28, avenue de l'Observatoire.
Aubert, Professeur au Lycée Condorcet, 139, rue de Rome.
Babinski, Ingénieur civil des Mines, 54, rue Bonaparte.
Baille, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf.
Baume Pluvinel (comte de la), 7, rue de la Baume.

---

ou égale à 500fr resteront inscrits, avec le chiffre de la donation, immédiatement après les Membres honoraires, et avant les Membres à vie, sous le titre de Donateurs. Les Membres à vie pourront acquérir ce titre en ajoutant une somme de 300fr à leur souscription perpétuelle. (Décision du Conseil du 1er décembre 1891.)

(1) Les Membres résidants ou non résidants sont libérés de toute cotisation moyennant un versement unique de 200 francs ou quatre versements de 50 francs pendant quatre années consécutives. Les sommes versées pour rachat des cotisations sont placées en valeurs garanties par l'État et leur revenu seul peut être employé aux besoins de la Société. (Statuts, Art. III, dernier paragraphe.)

(*) Membres décédés.

MM. **Bardy**, Directeur du Laboratoire central des Contributions indirectes, 32, rue du Général-Foy.

Bandsept, Ingénieur, 58, chaussée de Wavre, à Bruxelles (Belgique).

Baron, ancien Directeur à l'Administration des Postes et des Télégraphes, 64, rue Madame.

Becquerel (Henri), Membre de l'Institut, 21, boulevard Saint-Germain.

Benoit (René), Directeur du Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

Bertin, Directeur du matériel au Ministère de la Marine.

Bienaymé, Directeur du matériel au Ministère de la Marine, 74, rue de Rennes.

Bischoffsheim (Raphaël-Louis), Membre de l'Institut, 3, rue Taitbout.

Bjerknes (Wilhelm), chargé de Cours à l'Université de Stockholm (Suède).

* **Blavier**, Inspecteur général des Télégraphes, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie.

Blondel, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées, 2, boulevard Raspail.

Blondin, Professeur au Collège Rollin, 181, rue du Faubourg-Poissonnière.

Blondlot, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 8, quai Claude-le-Lorrain, à Nancy.

Boitel, Professeur au Lycée Lakanal, 9, route de l'Hay, à Bourg-la-Reine.

Bordet (**Lucien**), ancien Inspecteur des Finances, ancien élève de l'École Polytechnique, Administrateur de la C[ie] des forges de Châtillon et de Commentry, 181, boulevard Saint-Germain.

Bourgeois (Léon), D[r] ès-sciences, Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, boulevard Henri IV.

Bouty, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce.

Branly, Professeur à l'École libre des Hautes Études scientifiques et littéraires, 21, avenue de Tourville.

* **Bréguet** (Antoine), ancien élève de l'École Polytechnique.

Brewer, Constructeur d'instruments pour les Sciences, 76, boulevard Saint-Germain.

Brillouin, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, 31, boulevard de Port-Royal.

* **Brion**, Professeur de Physique.

Brisse (Ch.), Répétiteur à l'École Polytechnique, 18, rue Vauquelin.

Broca (D[r] André), ancien élève de l'École Polytechnique, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine, 7, cité Vaneau.

Brunhes (Bernard), Professeur à la Faculté des Sciences de Dijon.

* **Buchin**, Ingénieur électricien.

MM. * Cabanellas, Ingénieur électricien.

Cadot, Professeur au Lycée de Douai.

Cailho, Ingénieur des Télégraphes, 6, square du Croisic.

Canet, Directeur de l'Artillerie des forges et chantiers de la Médi terranée, 3, rue Vignon.

Carpentier, ancien élève de l'École Polytechnique, constructeur d'instruments de Physique, 34, rue du Luxembourg.

Carvallo, Examinateur d'admission à l'École Polytechnique, 1, rue de Courty.

Caspari, Ingénieur hydrographe de la Marine, 30, rue Gay-Lussac.

Cauro (Joseph), ancien Élève de l'École Polytechnique, 4, rue Sophie-Germain.

Chabaud (Victor), Constructeur d'instruments de Physique, 12, rue de la Sorbonne.

Chancel (Félix), Ingénieur des Arts et Manufactures, 34, rue Saint-Jacques, à Marseille.

Chautard, Doyen honoraire de la Faculté libre des Sciences de Lille, au château de la Chapelle, par Croissanville (Calvados).

Chaves (Antonio Ribeiro), 116, rua do Ouvidor, à Rio de Janeiro (Brésil).

* Chervet, Professeur au Lycée Saint-Louis.

Claverie, Censeur du Lycée Condorcet.

Colardeau (Emmanuel), Professeur au Collège Rollin, 29, avenue Trudaine.

Compagnie des Chemins de fer du Midi, 54, boulevard Haussmann.

Compagnie des Salins du Midi, 84, rue de la Victoire.

Contal, Préparateur de Physique au Collège Rollin, 12, avenue Trudaine.

Coppet (de), 41, villa Irène, à Nice.

Cornu, Membre de l'Institut, 9, rue de Grenelle.

Culmann, Docteur ès Sciences, Professeur au Technicum, 24, Schlotzhosfstrass, à Winterthur (Suisse).

Curie (Pierre), Docteur ès Sciences, Chef des travaux de Physique à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 13, rue des Sablons, à Sceaux.

Dambier, Professeur au Collège Stanislas.

Defforges (le Lieutenant-Colonel G.), détaché à l'État-Major général du Ministère de la Guerre, 41, boulevard de La Tour-Maubourg.

Delebecque, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Thonon.

Dollfus (Eugène), Chimiste, fabricant d'indiennes, 1, rue Schlumberger, à Mulhouse (Alsace).

Drouin (Félix), 5, rue Descombes.

* Duboscq (Jules), Constructeur d'instruments de Physique.

Duclaux, Membre de l'Institut, Directeur de l'Institut Pasteur, 35 *ter*. rue de Fleurus.

MM. Duclos, ancien Directeur d'École normale à Cérisols, par Sainte-Croix de Volvestre (Ariège).

Dufet, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, Professeur au Lycée Saint-Louis, 35, rue de l'Arbalète.

Dumoulin-Froment, Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs.

Dybowski, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 16, rue Rottembourg.

Engel, Professeur à l'École Centrale, 50, rue d'Assas.

Favé, Ingénieur hydrographe, 1, rue de Lille.

Fernet, Inspecteur général de l'Instruction publique, 23, avenue de l'Observatoire.

Fontaine (Hippolyte), Ingénieur électricien, 52, rue Saint-Georges.

Foussereau, Secrétaire de la Faculté des Sciences, 56, boulevard de Port-Royal.

Friedel, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue Michelet.

Galimard, Ancien Pharmacien de 1re classe, à Flavigny-sur-l'Ozerain (Côte-d'Or).

Gall (Henry), Directeur de l'usine de produits chimiques, à Villers, par Hermes (Oise).

Gariel (C.-M.), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine, 6, rue Édouard-Detaille.

Gascard (A.), Professeur à l'École de Médecine, Pharmacien des hôpitaux, 14, rue Alsace-Lorraine, à Rouen,

Gauthier-Villars, Libraire-Éditeur, 13, rue Singer.

Gay (Jules), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 16, rue Cassette.

Gayon, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de la station agronomique, 41, rue Permentade, à Bordeaux.

Gernez, Maître de conférences à l'École Normale supérieure, 18, rue Saint-Sulpice.

Godard (Léon), Docteur ès sciences, 82, boulevard Saint-Germain.

Godefroy (l'abbé), Ancien Professeur de Chimie à l'Institut catholique.

Godron (H.), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 9, rue des Grandes-Poteries, à Alençon.

Goloubitzky, Collaborateur de la Société des amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

* Gotendorf (Silvanus).

Gouré de Villemontée, Professeur au Lycée Buffon, 31, rue de Poissy.

Gramont (Arnaud de), Docteur ès Sciences, 81, rue de Lille.

Gray (Robert Kaye), Ingénieur électricien de l'India Rubber, Gutta and telegraph works C° limited, à Londres (Angleterre).

Grossetete (William), Ingénieur, 11, rue des Tanneurs, à Mulhouse (Alsace).

MM. GROUVELLE, Ingénieur, Professeur à l'École Centrale, 18, avenue de l'Observatoire.

GUÉBHARD (Dr Ad.), Agrégé de Physique de la Faculté de Médecine, à Saint-Vallier de Thiey (Alpes-Maritimes).

* HUGO (Comte Léopold).

HUSSON (Léon), Contrôleur du câble télégraphique, à Haïphong (Tonkin).

INFREVILLE (Georges D'), Électricien de la *Western Union Telegraph*, Expert de la *National Bell Telephone Co*, 110, Liberty Street, New-York (États-Unis).

* JAMIN, Membre de l'Institut.

JANET (Paul), Chargé de cours à la Faculté des Sciences, Directeur du Laboratoire central d'électricité, 180, boulevard Saint-Germain.

JAVAL, Membre de l'Académie de Médecine, Directeur du laboratoire d'Ophtalmologie à la Sorbonne, 52, rue de Grenelle.

JAVAUX (ÉMILE), Directeur de la Société des *Ateliers Gramme*, 33, rue Clavel.

* JENNESSON, Ancien Principal.

JÉNOT, Professeur honoraire au Collège Rollin, 17, rue Caulaincourt.

JEUNET, Professeur honoraire, 15, avenue de la Défense de Paris, Puteaux (Seine).

JOBIN (A), ancien élève de l'École Polytechnique, successeur de M. Laurent, 21, rue de l'Odéon.

JOLY, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 2 *bis*, square du Croisic.

JOUBERT, Inspecteur général de l'Instruction publique, 67, rue Violet.

KŒCHLIN (Horace), Chimiste, 16, rue Masséna, à Lyon.

KROUCHKOLL, Docteur ès Sciences et Docteur en médecine, Chef des Travaux de Physique à la Faculté des Sciences, 6, rue Édouard-Detaille.

LACOUR, Ingénieur civil des Mines, 60, rue Ampère

LAURENT (Léon), Ancien constructeur d'instruments d'optique, 21, rue de l'Odéon.

LAPRESTÉ, Professeur au Lycée Buffon, 7, rue Charlet.

LAVIÉVILLE, Inspecteur de l'Académie de Paris, Sous-Directeur des études au Lycée Saint-Louis

LE BEL, ancien Président de la Société chimique, 25, rue Franklin.

LEBLANC, ancien élève de l'École Polytechnique, 63, allée du Jardin Anglais, au Raincy.

LECHAT, Professeur honoraire du Lycée Louis-le-Grand, 4, rue de Calais.

LE CHATELIER (André), Ingénieur des Constructions navales, 25, cours Gambetta, à Lyon.

LE CHATELIER (Henry), Ingénieur des Mines, Professeur de Chimie générale à l'École des Mines, 73, rue Notre-Dame-des-Champs.

MM. Le Chatelier (Louis), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 95, rue de Rennes.

Le Cordier (Paul), chargé de Cours à la Faculté des Sciences, 3, place Lecoq, à Clermont-Ferrand.

Leduc, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 1, rue Michelet.

Lefebvre (Pierre), Professeur au Lycée, 34, de Bellaing, à Douai.

Lemoine (E.), ancien élève de l'École Polytechnique, 5, rue Littré.

* Lemonnier, ancien élève de l'École Polytechnique.

Lemström (Selim), Professeur de Physique à l'Université de Helsingfors (Finlande).

Lequeux, Ingénieur des Arts et Manufactures, 64, rue Gay-Lussac.

Leroy, Professeur au Lycée Michelet, 245, boulevard Raspail.

Lespiault, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

* Létang (Paul), Ingénieur électricien.

Limb, Ingénieur, Docteur ès Sciences, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 104, rue d'Assas.

Lippmann, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 10, rue de l'Éperon.

Lyon (Gustave), ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 24 *bis*, rue Rochechouart.

Macé de Lépinay, Professeur à la Faculté des Sciences, 105, boulevard Longchamps, à Marseille.

Mach (Dr E.), Professeur de Physique à l'Université de Vienne (Autriche).

* Mallard, Membre de l'Institut, Inspecteur général des Mines, Professeur de Minéralogie à l'École des Mines.

Maneuvrier, Agrégé de l'Université, Directeur-Adjoint du Laboratoire des recherches (Physique) à la Sorbonne.

Macquet (Auguste), Ingénieur au corps des Mines, Professeur à l'École des Mines du Hainaut, à Mons (Belgique).

Martin (Ch.), rue de Bonneval, à Chartres.

Mascart, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, 176, rue de l'Université.

Masson (G.), Libraire-Éditeur, 120, boulevard Saint-Germain.

Maurat, Professeur honoraire du Lycée Saint-Louis, à Rochecorbon (Indre-et-Loire).

Menier (Henri), 8, rue de Vigny.

Meslin, Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Montpellier.

* Meyer (Bernard), Ingénieur des Télégraphes.

Molteni, Ingénieur-Constructeur, 44, rue du Château-d'Eau.

* Moncel (comte du), Membre de l'Institut.

Montefiore (Lévi), Sénateur, Ingénieur, Fondateur de l'Institut électrotechnique, à Liège.

Moser (Dr James), Privat-Docent à l'Université, viii, Laudongasse, 25, à Vienne (Autriche).

MM. MUIRHEAD (Dr Alexandre F. C. S.), 3, Elm Court, Temple E. C. Londres.

NERVILLE (DE), Ingénieur des Télégraphes, 116, boulevard Haussmann.

NOGUÉ (Émile), Attaché à la maison Pellin-Duboscq, 138, rue d'Assas.

* NIAUDET, Ingénieur civil.

OGIER (Jules), Docteur ès Sciences, Chef du laboratoire de Toxicologie, 1, quai d'Orsay.

OLLIVIER (A.), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.

PALMADE, Professeur au Lycée de Bordeaux.

PALMADE, Capitaine du Génie, adjoint au Commandant de l'École du Génie, à Versailles.

PAVLIDÈS (Démosthènes), Docteur en Médecine, 14, rue Cadet.

PELLAT, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 3, avenue de l'Observatoire.

PÉRARD (L.), Professeur à l'Université, 101, rue Saint-Esprit, Liège (Belgique).

* PÉROT, Dessinateur et Graveur.

PÉROT (Alfred), Professeur d'Électricité industrielle à la Faculté des Sciences, 119, boulevard Longchamps, à Marseille.

PERREAU, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Nancy.

PICOU, Ingénieur des Arts et Manufactures, 75, avenue de la Grande-Armée.

PILTSCHIKOFF (Nicolas), Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

POINCARÉ (A.), Inspecteur général des Ponts et Chaussées, 14, rue du Regard.

POINCARÉ (Lucien), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, 17, rue d'Assas.

POLLARD (Jules), Ingénieur de la Marine, 28, rue Bassano.

POPP (Victor), Administrateur-Directeur de la Compagnie des horloges pneumatiques, 54, rue Étienne-Marcel.

POTIER, Membre de l'Institut, Ingénieur en chef des Mines, 89, boulevard Saint-Michel.

POUSSIN (Alexandre), Ingénieur, au château de La Houblonnière, par Lisieux.

PUPIN, Secrétaire de la Faculté de Médecine de Paris.

PUYFONTAINE (Comte DE), 34, avenue Friedland.

RAFFARD (N.-J.), Ingénieur, 5, avenue d'Orléans.

RAYMOND, Ingénieur des Constructions navales, à Toulon.

* RAYNAUD, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie.

RENAULT, Licencié ès Sciences physiques, 25, rue Brézin.

RIBIÈRE (Charles), Ingénieur des ponts et chaussées attaché au service des phares, 6, rue Bizet.

* RIGOUT (A.), Docteur en Médecine.

RIVIÈRE, Professeur au Lycée Saint-Louis, 17, rue Gay-Lussac.

RODDE (Ferd.), 61, rue Rochechouart.

MM. Rodde (Léon), rua do Ouvidor, 107, à Rio de Janeiro (Brésil).

Rodocanachi (Emmanuel), 54, rue de Lisbonne.

Roger, Chef d'institution honoraire, 7, rue Faustin-Hélie.

Romilly (Félix de), 25, avenue Montaigne.

Romilly (Paul de), Ingénieur en Chef des Mines, 7, rue Balzac.

Rothschild (Baron Edmond de), 41, rue du Faubourg-Saint-Honoré.

Rozier (F.), Docteur en Médecine, 19, rue du Petit-Pont.

Sainte-Claire Deville (Emile), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 12, rue Alphonse de Neuville.

* Sainte-Claire Deville (Henri), Membre de l'Institut.

* Salet, Maître de conférences à la Faculté des Sciences.

Schwedoff, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

Sebert, Général d'Artillerie de Marine, Administrateur des forges et chantiers de la Méditerranée, 14, rue Brémontier.

Seligmann-Lui, Sous-Inspecteur des Télégraphes, 103, rue de Grenelle.

Serpollet, Ingénieur, 27, rue des Cloys.

* Spottiswoode (W.), Président de la Société royale de Londres.

Strauss, Chef du Génie, 16, boulevard de la Liberté, à Gap.

Street (Charles), Ingénieur des Arts et Manufactures, 39, rue Joubert.

Teploff, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimirskaïa, 15, Maison Friederichs, Saint-Pétersbourg.

Termier, Ingénieur des Mines, Professeur à l'École Nationale des Mines, 71, rue Claude-Bernard.

* Terquem, Professeur à la Faculté des Sciences, à Lille.

* Thollon, Physicien à l'Observatoire de Nice.

Thomas, Professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger.

Thouvenel, Professeur au Lycée Charlemagne, 100, rue de Rennes.

Touanne (de la), Ingénieur des Télégraphes, 13, rue Soufflot.

Troost, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 84, rue Bonaparte.

Tuleu, Ingénieur, 58, rue Hauteville.

Vagniez (Édouard), à Amiens.

* Van den Kerchove, Sénateur, Gand (Belgique).

Vaschy, Ingénieur des Télégraphes, Répétiteur à l'École Polytechnique, 68, avenue Bosquet.

Vautier (Théodore), Professeur adjoint de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon.

* Verrier (J.-F.-G.), Membre de plusieurs Sociétés savantes.

Villiers (Antoine), Agrégé à l'École de Pharmacie, 30, avenue de l'Observatoire.

Violle, Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, 89, boulevard Saint-Michel.

Wallon (E.), Professeur au Lycée Janson de Sailly, 24, rue de Saint-Pétersbourg.

* Warren de la Rue, Correspondant de l'Institut.

MM. WEISS (Dr Georges), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, 119, boulevard Saint-Germain.

WERLEIN (Ivan), Constructeur d'instruments d'Optique, 71, rue du Cardinal Lemoine.

WEYHER, Ingénieur, Administrateur-Directeur de la Société centrale de Construction de machines, 36, rue Ampère.

WUNSCHENDORFF, Ingénieur des Télégraphes, 92, rue de Rennes.

WYROUBOFF, Docteur ès Sciences, 141, rue de Rennes.

ABRAHAM, Professeur au Lycée Louis-le-Grand.

BASSÉE (Jules-Charles), Constructeur d'instruments de Physique, 92, rue de Bondy.

CARIMEY, Professeur au Lycée Saint-Louis.

* CHABRY (Dr L.), Docteur ès Sciences.

CHAUVEAU, ancien élève de l'École Normale supérieure, Météorologiste adjoint au Bureau central, 51, rue de Lille.

DIOT, Professeur au Lycée Condorcet, 72, rue Nollet.

FAIVRE-DUPAIGRE, Professeur au Lycée Saint-Louis, 95, boulevard Saint-Michel.

FOVEAU DE COURMELLE (Dr), 26, rue Le Peletier.

* GAUDIN, ancien élève de l'École Polytechnique.

GÉRARD (Anatole), Ingénieur électricien, 16, rue des Grandes-Carrières.

KERANGUÉ (Yves DE), Capitaine en retraite, à Kernouël, près Paimpol (Côtes-du-Nord).

KNOLL, Préparateur de Physique au Lycée Louis-le-Grand.

KOROLKOFF (Alexis), Lieutenant-Colonel d'Artillerie russe, Professeur de Physique à l'Académie d'Artillerie de Saint-Pétersbourg.

MARIE, Préparateur de Physique au Lycée Charlemagne.

MAURAIN (Charles), Agrégé, préparateur au Collège de France.

MERGIER (Dr), Préparateur des Travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine de Paris, 27, avenue d'Antin.

MESTRE, Ingénieur à la Cie des Chemins de fer de l'Est, 168, rue Lafayette.

MICHEL (Auguste), Constructeur d'instruments de Physique, 92, rue de Bondy.

OUMOFF (Nicolas), Professeur de Physique à l'Université de Moscou (Russie).

TIMIRIAZEFF, Professeur à l'Université et à l'Académie Agronomique de Moscou (Russie).

WEISS (Pierre), Docteur ès sciences, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Rennes.

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.

ABBADIE (d'), Membre de l'Institut, 120, rue du Bac.

ABRAHAM, Professeur au Lycée Louis-le-Grand.

ADAM (Étienne), Professeur au Lycée de Bar-le-Duc.

AGUILAR Y SANTILLAN (Raphael), Préparateur de Physique à l'École Normale de Mexico (Mexique).

ALBERT (Fernand), Professeur au Collège de Pontoise, 4, rue de la Terrasse, à Créteil.

ALLUARD, Professeur honoraire à la Faculté des Sciences, 22 *bis*, place de Jaude, Clermont-Ferrand.

ALVERGNIAT, Constr. d'instruments de Physique, 10, rue de la Sorbonne.

AMAGAT, Correspondant de l'Institut, Répétiteur à l'École Polytechnique, 34, rue Saint-Lambert.

AMET (E.), aux usines Saint-Hubert, à Sézanne (Marne).

ANDRÉ (Ch.), Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de l'Observatoire de Lyon.

ANGOT, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 12, avenue de l'Alma.

ANTHONISSEN (Joseph), 21, rue Hauteville.

APPERT (Louis), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur verrier, 50, rue de Londres.

ARBEZ (Léon), Industriel, à Oyonnax (Ain).

ARGYROPOULOS, Professeur de Physique, à Athènes (Grèce).

ARMAGNAT, Ingénieur, 20, rue Delambre.

ARNOUX (René), Ingénieur civil, 16, rue de Berlin.

ARNOYE (Léon), Professeur au Lycée, 40, rue Gasseras, à Montauban.

ARSONVAL (Dr d'), Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, 28, avenue de l'Observatoire.

ARTH, Chargé d'un Cours de Chimie industrielle à la Faculté des Sciences de Nancy.

ARTHAUD, Chef des travaux histologiques au Laboratoire de Physiologie générale du Muséum, 6, rue Berthollet.

ATTAINVILLE (d'), Docteur en Médecine, 7, rue Brunel.

AUBERT, Professeur au Lycée Condorcet, 139, rue de Rome.

AUBRY, Professeur au Lycée d'Annecy.

AUDIBERT, Professeur au Collège, allées Paul Riquet, à Béziers.

AUPAIX (Charles), Professeur au Lycée, 16, place Terre-au-Duc, à Quimper.

AYMONNET (J.-F.), Professeur de Physique, 54, boulevard Arago.

BABINSKI (Henri), Ingénieur civil des Mines, 170 *bis*, boulevard Haussmann.

BABLON, 42, rue Boulard.

MM.

BAGARD, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Dijon.

BAILLAUD (B.), Doyen honoraire de la Faculté des Sciences, Directeur de l'Observatoire de Toulouse.

BAILLE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf.

BAILLY (Léon), Professeur agrégé de Physique en retraite, 19, rue Tran à Pau.

BANDSEPT, Ingénieur, 58, chaussée de Wavre, à Bruxelles (Belgique).

BANET-RIVET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 19 *bis*, boulevard de Port-Royal.

BARBIER (Paul), Ingénieur, 129, avenue de Villiers.

BARDEL, Libraire, à Évreux.

BARDY, Directeur du laboratoire central de l'Administration des Contributions indirectes, 32, rue du Général-Foy.

BARON, Directeur à l'Administration des Postes et Télégraphes, 64, rue Madame.

BARY (Paul), Ingénieur électricien, 5, rue Gay-Lussac.

BASSÉE (Jules-Charles), Constructeur d'instruments de Physique, 92, rue de Bondy.

BASSET, Professeur au Lycée de Bourges.

BASSOT, Membre de l'Institut, Colonel du Génie, Chef de la Section de Géodésie au Service géographique de l'armée, 16, rue Chauveau-Lagarde.

BASTIDE, Employé au Secrétariat de la Faculté des Sciences de Paris.

BATTELLI (Angelo), Professeur à l'Université de Pise (Italie).

BAUDOT, Inspecteur-Ingénieur des lignes télégraphiques, 6, rue Mayet.

BAUME PLUVINEL (Comte Aymar de la), 7, rue de La Baume.

BEAULARD (Fernand), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 4, rue du Docteur-Bailly, à Grenoble.

BÉCORDEL (H. de), Receveur principal, à Grasse.

BECQUEREL (Henri), Membre de l'Institut, Professeur à l'École Polytechnique, 21, boulevard Saint-Germain.

BÉDART, Professeur agrégé de Physiologie à la Faculté de Médecine de Lille.

BÉDOREZ, Proviseur du Lycée de Nancy.

BEGHIN (Auguste), Professeur à l'École nationale des Arts industriels, 50, rue du Tilleul, à Roubaix.

BEL (Edgar), Professeur au Lycée d'Oran (Algérie).

BELL (Alexander Graham), 1331, Connecticut Ave., Washington D. C. (U.S.A),

BELLE (Gaston), Ministre plénipotentiaire, 15, avenue Kléber.

BELLATI (Manfredo), Professeur de Physique technique à l'École des Ingénieurs, à l'Université de Padoue (Italie).

BENAVIDES (Francisco da Fonseca), Professeur à l'Institut industriel de Lisbonne (Portugal).

BENOIST, Professeur au Lycée Henri IV, 62, rue Monge.

BENOIT (René), Docteur ès sciences, Directeur du Bureau international des Poids et Mesures, au pavillon de Breteuil, Sèvres.

BERGER (Georges), Député, 8, rue Legendre.

MM.

BERGERON (J.), Docteur ès sciences, Sous-Directeur du Laboratoire de Géologie à la Faculté des Sciences, 157, boulevard Haussmann.

BERGET (Alphonse), Docteur ès sciences, attaché au laboratoire des recherches physiques à la Sorbonne, 16, rue de Vaugirard.

BERGON, Ancien Directeur au Ministère des Postes et des Télégraphes, 56, rue Madame.

BERGONIÉ (Dr), Professeur de Physique à la Faculté de Médecine, 6 *bis*, rue du Temple, à Bordeaux.

BERNARD (Alfred), Professeur au Lycée de Périgueux.

BERNARD, Professeur au Collège d'Ajaccio.

BERNARD (L.), Professeur au Lycée, 3, rue du Chariot, à Orléans.

BERSON, Professeur au Lycée Buffon.

BERTHELOT, Sénateur, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 3, rue Mazarine.

BERTHELOT (Daniel), Docteur ès sciences, Préparateur à la Faculté des Sciences, 3, rue Mazarine.

BERTIN, Directeur du matériel au Ministère de la Marine.

BERTIN, Professeur à l'École normale de la Grande Sauve (Gironde).

BERTIN-SANS (Dr Henri), Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine, 8, rue de la Merci, à Montpellier.

BERTRAND (J.), Membre de l'Académie Française, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 4, rue de Tournon.

BERTRAND (A.-L.), Chef de Bataillon du Génie, attaché à la Section technique du Génie au Ministère de la Guerre, 8, rue Saint-Dominique.

BESANÇON (M.-J.), Professeur à l'École Turgot et à l'École supérieure du Commerce.

BESOMBES (Noël), Inspecteur des Postes et Télégraphes, 2, place Saint-Michel, à Marseille.

BESSON (Léon), Ancien Officier de Marine, Sous-Chef de l'Exploitation à la Compagnie générale Transatlantique, 6, rue Aubert.

BÉTOUX (Victor), Professeur au Lycée, 41 boulevard Carnot, à Toulouse.

BEZODIS, Professeur honoraire de l'Université, 9, avenue Marceau.

BIBLIOTHÈQUE DE L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES.

BIBLIOTHÈQUE DES FACULTÉS, à Caen.

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSITAIRE DE LILLE.

BIBLIOTHÈQUE ROYALE DE BERLIN.

BICHAT, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 1 *bis*, rue des Jardiniers, à Nancy.

BIDAUX (Maurice), Pharmacien de 1re classe, à Chaville.

BIENAYMÉ, Inspecteur général du Génie maritime, 74, rue de Rennes.

BISCHOFFSHEIM (Raphaël-Louis), Membre de l'Institut, 3, rue Taitbout.

BJERKNES (Vilhelm), Chargé de Cours à l'Université de Stockholm (Suède).

BLAREZ (le Dr) Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 3, rue Gouvion, à Bordeaux.

MM.

BLOCH (**Salvator**), Professeur au Lycée de Versailles, 40, rue de Tocqueville.

BLONAY (**Roger de**), 23, rue La Rochefoucauld.

BLONDEL, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 2, boulevard Raspail.

BLONDIN, Professeur au Collège Rollin, 171, rue du Faubourg-Poissonnière.

BLONDLOT (**R.**), Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 8, quai Claude-le-Lorrain, à Nancy.

BLOUVEN, au Manoir de Lanhouardon à Ploubennec (Finistère).

BOBILEFF, Professeur de Mécanique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOCAT (**l'abbé**), Licencié ès Sciences Physiques, Professeur au Collège Saint-François-de-Salles, rue Vannerie, à Dijon.

BOISARD (**Louis**), Professeur au Lycée Carnot, 129, avenue de Wagram.

BOITEL, Professeur au Lycée Lakanal, 5, route de l'Hay, à Bourg-la-Reine.

BONAPARTE (**Prince Roland**), 10, avenue d'Iéna.

BONAVITA, Professeur au Lycée de Bastia.

BONETTI (**L.**), Constructeur électricien, 69, avenue d'Orléans.

BONIOL, Professeur de Mathématiques, 108, avenue des Ternes.

BORDENAVE (**L.**), Ingénieur à l'usine Ménier, à Noisiel-sur-Marne.

BORDET (**Lucien**), ancien élève de l'École Polytechnique, ancien Inspecteur des Finances, Administrateur de la Compagnie des forges de Châtillon et de Commentry, 181, boulevard Saint-Germain.

BORDIER (D[r] **Henri**), Médecin électricien, 39, rue Thomassin, à Lyon.

BORGMANN, Professeur à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOUANT, Professeur au Lycée Charlemagne.

BOUASSE (**Henri**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Toulouse.

BOUCHER (**Ch.**), Préfet des Études au Collège Chaptal, 45, boulevard des Batignolles.

BOUCHEROT (**Paul**), Ingénieur de la Société des établissements Weyher et Richemond, 14, rue du Goulet, à Noisy-le-Sec (Seine).

BOUDRET (**Eugène**), Professeur au Lycée d'Agen.

BOUDRÉAUX (**Édouard**), Conservateur des collections de Physique à l'École Polytechnique, 4, rue Clovis.

BOUDRÉAUX (**Léon**), Propriétaire et Directeur des ateliers de galvanoplastie, 8, rue Hautefeuille.

BOULANGER (**Julien**), Commandant du Génie, Attaché au Dépôt des fortifications, 25, boulevard du Montparnasse.

BOULOUCH (**R.**), Professeur au Lycée de Bordeaux.

BOURGAREL, Professeur au Lycée de Grenoble.

BOURGEOIS (**Léon**), Docteur ès-sciences, Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, boulevard Henri IV.

BOURRUT-DUVIVIER, Professeur à l'École Navale, 19, rue de Siam, à Brest.

BOUSQUET (**E.**), Directeur de l'École normale de Nice.

BOUTAN, Inspecteur général honoraire de l'Instruction publique, à Miremonde, par Terraube (Gers).

MM.

BOUTET DE MONVEL, Professeur honoraire de l'Université, 5, rue des Pyramides.

BOUTY, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce.

BOZZOLA (l'abbé J.-B.), Professeur au Séminaire de Padoue (Italie).

BRACHET (Henri), Ingénieur électricien, 3, quai Fulchiron, à Lyon.

BRANLY (E.), Professeur à l'École libre des Hautes Études scientifiques et littéraires, 21, avenue de Tourville.

BREWER (William J.), Constructeur d'instruments pour les sciences, 76, boulevard Saint-Germain.

BRIEU (Georges), Professeur à l'École Normale, 11, rue Aubarède, à Périgueux.

BRILLOUIN (Marcel), Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, 31, boulevard de Port-Royal.

BRISAC, Ingénieur de l'éclairage à la Compagnie Parisienne du gaz, 7 *bis*, rue de l'Aqueduc.

BRISSE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 18, rue Vauquelin.

BROCA (Dr André), ancien élève de l'École Polytechnique, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine, 7, cité Vaneau.

BROUQUIER (l'abbé), Directeur du petit Séminaire de Toulouse.

BROWNE (H.-V.), Représentant de la compagnie Direct Spanish Telegraph, à Marseille.

BRUNEL, Lieutenant au 5e régiment d'Artillerie, 23, rue Mégerand, à Besançon.

BRUNHES (Bernard), Professeur à la Faculté des Sciences de Dijon.

BUCQUET (Maurice), Président du *Photo-Club de Paris*, 12, rue Paul Baudry.

BUDDE (D^r), Rédacteur au *Fortschritte*, Klopstock-strasse, 53, à Berlin. N. W.

BUGUET (Abel), Professeur au Lycée, 5, rue Bellevue, à Rouen.

BUISSON (Maxime), Chimiste, 11, rue de la Chaussée, à Chantilly (Oise).

CADENAT, Professeur au Collège de Saint-Claude.

CADIAT, Ingénieur, 5, boulevard Morland.

CADOT (Albert), Professeur au Lycée de Douai.

CAILHO, Ingénieur des Télégraphes, 111, rue Mozart.

CAILLETET (L.-P.), Membre de l'Institut, 75, boulevard Saint-Michel.

CAILLOL DE PONCY, Professeur à l'École de Médecine, 8, rue Clapier, à Marseille.

CALMETTE, Professeur au prytanée militaire de la Flèche.

CAMICHEL (Ch.), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Lille.

CANCE, Ingénieur électricien, 9, rue de Rocroy.

CANET (Gustave-Adolphe), Directeur de l'Artillerie des Forges et Chantiers de la Méditerranée, 3, rue Vignon.

CARIMEY, Professeur au Lycée Saint-Louis.

CARPENTIER, ancien Élève de l'École Polytechnique, constructeur d'instruments de Physique, 34, rue du Luxembourg.

CARRÉ (F.), Professeur au Lycée Michelet, 9, rue des Croisiers, à Caen.

MM.

CARVALLO (**E.**), Examinateur d'admission à l'École Polytechnique, 1, rue de Courty.

CASALONGA, Ingénieur civil, 11, rue des Déchargeurs.

CASPARI (**E.**), Ingénieur hydrographe de la Marine, Répétiteur à l'École Polytechnique, 30, rue Gay-Lussac.

CASTEX (**Edmond**), Agrégé des Facultés de Médecine, chargé de Cours à l'École de Médecine de Rennes.

CAURO (**Joseph**), ancien élève de l'École Polytechnique, 4, rue Sophie-Germain.

CAVAILLÉ-COLL, Facteur d'orgues, 15, avenue du Maine.

CAVIALE (**V.**), Professeur de Physique à l'École Normale, 49, avenue de Saint-Cloud, à Versailles.

CAVAILLÈS, Préparateur de Physique au Lycée de Nice.

CAZES (**Laurent**), Répétiteur général au Lycée Saint-Louis, 36, rue Notre-Dame-des-Champs.

CENSIER (**A.**), Professeur au Lycée de Nîmes.

CHABAUD (**Victor**), Constructeur d'instruments de précision, 12, rue de la Sorbonne.

CHABERT (**Léon**), Ingénieur électricien, 93, rue Jouffroy.

CHABRERIE, Principal du Collège de Treignac (Corrèze).

CHABRIÉ (**Camille**), Docteur ès Sciences, 9, avenue de Saxe.

CHAIR, Professeur au Collège d'Auxerre.

CHAMBERT (**Paul**), rue de la Manufacture, à Châteauroux.

CHANAL, Professeur au Lycée de Reims.

CHANCEL (**Félix**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 34, rue Saint-Jacques, à Marseille.

CHAPPUIS (**James**), Professeur à l'École centrale, 5, rue des Beaux-Arts.

CHAPPUIS (**Pierre**), attaché au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

CHARDONNET (**le comte de**), ancien élève de l'École Polytechnique, 20, place de l'État-Major, à Besançon, et 43, rue Cambon, à Paris.

CHARPENTIER, Professeur à la Faculté de Médecine de Nancy.

CHARTRAND, Docteur en Médecine, Professeur à l'Université de Montréal (Canada).

CHASSAGNY, Professeur au Lycée Janson de Sailly.

CHASSY, Professeur à la Faculté libre des Sciences, à Lyon.

CHATELAIN (**Michel**), au Laboratoire de l'Université, à St-Pétersbourg (Russie).

CHAUMAT, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 33, rue Linné.

CHAUSSEGROS, Ingénieur, chef de traction au chemin de fer, 3, place Jussieu.

CHAUTARD, Doyen honoraire de la Faculté libre des Sciences de Lille, à la Villa Saint-Marc, par Croissanville (Calvados).

CHAUVEAU, ancien Élève de l'École Normale Supérieure, Météorologiste adjoint au Bureau Central, 51, rue de Lille.

CHAVES (**Antonio Ribeiro**), 116, rua do Ouvidor, à Rio de Janeiro (Brésil).

MM.

CHENEVIER, Directeur du Laboratoire de la Compagnie des Chemins de fer du Midi, 8, rue Tanesse, à Bordeaux.

CHEVALLIER (Henry), Préparateur à la Faculté des Sciences, 61, rue Clément, à Bordeaux.

CHIBOUT, Ingénieur, Constructeur d'appareils de chauffage, 36, rue Notre-Dame-des-Champs.

CHISTONI (CIRO), Professeur à l'Université de Modène (Italie).

CHUDEAU, Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Besançon.

CHWOLSON (Oreste), Professeur à l'Université Impériale, Wassili Ostrow, 12 signe, Maiven 7, Logement 3, à Saint Pétersbourg (Russie).

CLAVEAU, Professeur au Lycée, 13, rue amiral Linois, à Brest.

CLAVERIE, Censeur du Lycée Condorcet, 65, rue Caumartin.

COLARDEAU (P.), Professeur au Lycée de Lille.

COLARDEAU (Emmanuel), Professeur au Collège Rollin, 29, avenue Trudaine.

COLIN (Th.) Professeur au Lycée d'Alger.

COLLIGNON (Benoît), ancien élève de l'École Polytechnique, Professeur de Mathématiques, 74, rue Jean-Jacques-Rousseau, à Dijon.

COLLOT (Armand), Ingénieur des Arts et Manufactures, Constructeur d'Instruments de précision, 8, boulevard Edgar-Quinet.

COLNET D'HUART (de), Membre de l'Académie Royale de Belgique, ancien Directeur des finances du Grand-Duché de Luxembourg, à Luxembourg.

COLNET D'HUART (François de), Docteur ès sciences, Professeur à l'Athénée, avenue Reinsheim, à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

COLSON (R.), Capitaine du Génie, 66, rue de la Pompe.

COLUMBIA COLLEGE LIBRARY à New-York (États-Unis).

COMBES (A.), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, ancien élève de l'École Polytechnique, 14, rue du Val-de-Grâce.

COMBES (Charles), Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles, 15, rue Bara.

COMBET (Candide), Professeur au Lycée de Tunis (Tunisie).

COMBETTE, Inspecteur général de l'Université, 63, rue Claude-Bernard.

COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI, 54, boulevard Haussmann.

COMPAGNIE DES SALINS DU MIDI, 84, rue de la Victoire.

CONTAL, Préparateur de Physique au Collège Rollin, 12, avenue Trudaine.

COPPET (de), 41, villa Irène, rue Magnan, à Nice.

CORNU, Membre de l'Institut, Professeur à l'École Polytechnique, 9, rue de Grenelle.

COTTON (A.), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Toulouse.

CORVISY (A.), Professeur au Lycée, 75, rue Carnot, à Saint-Omer.

COUETTE (Maurice), Docteur ès sciences, Professeur à la Faculté libre des Sciences, 26, rue de La Fontaine, à Angers.

COUPIER, à Saint-Denis-Hors, par Amboise.

COUPIER, Ingénieur des Poudres et Salpêtres, Directeur de la Raffinerie de Saint-Denis, à Marseille.

MM.

COURQUIN (l'abbé), Professeur de filature à l'École industrielle, 29, rue du Casino, à Tourcoing.

COURTOY, Professeur à l'École vétérinaire, 47, rue Bara, à Bruxelles (Belgique).

CROIX (Victor), Professeur au Collège communal, avenue du Clos, à Saint-Amand-les-Eaux (Nord).

CROIZIER, Capitaine d'Artillerie de Marine en retraite, 11, rue Monadey, à Bordeaux.

CROVA, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 14, rue du Carré-du-Roi, Montpellier.

CUÉNOD, Ingénieur électricien, 10, boulevard Voltaire, à Genève (Suisse).

CULMANN (P), Docteur ès sciences, Professeur au Technicum, 24, Schlosshofstrasse, à Winterthur (Suisse).

CURIE (Pierre), Dr ès Sciences, Chef des Travaux de Physique à l'École de Physique et de Chimie industrielle de la Ville de Paris, 13, rue des Sablons, à Sceaux.

DAGUENET, Professeur au Lycée Hoche, 4, rue Sainte-Victoire, à Versailles.

DAMBIER, Professeur au Collège Stanislas.

DAMIEN, Professeur à la Faculté des Sciences, 49, rue Brûle-Maison, à Lille.

DARZENS, Préparateur de Chimie à l'École Polytechnique, 24, rue de la Cerisaie.

DEBRUN (E.-E.), Professeur au Collège de Saint-Flour.

DECHEVRENS (le R. Père Marc S. J.), ancien Directeur de l'Observatoire de Zi-Ka-Wei (Chine), à Saint-Hélier, Observatoire Saint-Louis (île Jersey).

DEDET (François), Professeur honoraire de Physique, à Albi.

DEFERT (René), Licencié ès Sciences physiques, 89, rue de Grenelle.

DEFFORGES (le Lieutenant-Colonel G.), détaché à l'État-Major général du Ministère de la Guerre, 41, boulevard de Latour-Maubourg.

DELAUNAY (Nicolas), Professeur de Mécanique à l'Institut d'Agriculture à Novo-Alexandria, gouvernement Lublin (Russie).

DELAURIER, Ingénieur, 77, rue Daguerre.

DELEBECQUE, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Thonon.

DELEVEAU, Professeur au Lycée, 136, cours Lientaud, à Marseille.

DELPEUCH, Ingénieur de la Compagnie des Chemins de fer de l'Est, 26, rue Pétrelle.

DEMERLIAC (R.), Professeur au Lycée, 30, rue de Bretagne, à Caen.

DELVALEZ, Professeur au Lycée de Poitiers.

DE METZ, Professeur à l'Université Saint-Wladimir, 3, rue du Théâtre, à Kiew (Russie).

DEMICHEL, Constructeur d'instruments pour les Sciences, 24, rue Pavée-au-Marais.

DEPREZ (Marcel), Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, 23, avenue Marigny, à Vincennes.

DESCHAMPS (Dr Eugène), Professeur de Physique à l'École de Médecine de Rennes.

MM.

DESLANDES, ancien Officier de marine, 20, rue La Rochefoucauld.

DESLANDRES, ancien élève de l'École Polytechnique, 43, rue de Rennes.

DESPRATS (André), Principal du Collège de Bruyères (Vosges).

DESROZIERS, Ingénieur civil des Mines, 74, rue Condorcet.

DETAILLE (Charles), Professeur au Lycée, 18, rue Charbonnerie, à Saint-Brieuc.

DEVAUD, Professeur au Lycée de Marseille.

DEVAUX, Professeur au Lycée de Lorient.

DEVAUX (Henri), Docteur ès sciences, à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

D'HENRY (Louis), 6, boulevard de Port-Royal.

DIDIER (Paul), Docteur ès sciences, Examinateur d'admission à l'École spéciale militaire, 17, rue Malebranche.

DIETRICH (Ch.), Dessinateur et graveur, 3, rue Hautefeuille.

DIERMAN (William), Ingénieur électricien, Directeur de la Société anonyme belge pour l'éclairage et la transmission électrique à grande distance, 27, rue de la Sablonnière, à Bruxelles (Belgique).

DIGEON (J.), Ingénieur-Constructeur, 15, 17 et 19, rue du Terrage.

DINI (Urbain), Ingénieur de la Maison Dumoulin-Froment, 48, rue Gassendi.

DIOT, Professeur au Lycée Condorcet, 72, rue Nollet.

DOIGNON (L.), Ingénieur constructeur, successeur de Dumoulin-Froment, 35, rue Notre-Dame-des-Champs.

DOLLFUS (Eugène), Chimiste, fabricant d'indiennes, 32, rue d'Altkirch, à Mulhouse (Alsace).

DOMMER, Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 10, avenue Mac-Mahon.

DONGIER (Raphaël), Agrégé, préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 39, quai de la Tournelle.

DORGEOT (Gabriel), Capitaine d'Artillerie, en garnison à Saint-Servan.

DOUCEUR, Directeur des Postes et Télégraphes, retraité, 42, rue Jouffroy.

DRINCOURT, Professeur au Collège Rollin, 52, rue Condorcet.

DROUIN (Félix), Ingénieur, 100, rue de Courcelles, à Levallois-Perret.

DUBOIS, Professeur au Lycée, 31, rue Cosette, à Amiens.

DUBOIS (René), Professeur à l'École Turgot, 13, rue de Cluny.

DUBOIS (E.-H.), Schillbauerdaunn, 21, à Berlin (Allemagne).

DUBOSCQ (Albert), Constructeur d'instruments d'Optique et de précision, 39, quai de la Tournelle.

DUCHEMIN, Ingénieur, 37, boulevard de la Tour-Maubourg.

DUCLAUX, Membre de l'Institut, Directeur de l'Institut Pasteur, 35 *ter*, rue de Fleurus.

DUCLOS, ancien Directeur d'École normale, à Cerisols, par Sainte-Croix-de-Volvestre (Ariège).

DUCOMET, Ingénieur, 7-9, rue d'Abbeville.

DUCOTTÉ, Ingénieur, 3, rue Paganini, à Nice.

MM.

DUCRETET, Constructeur d'instruments de Physique, associé de M. Lejeune, 75, rue Claude-Bernard.

DUFET, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, Professeur au Lycée Saint-Louis, 35, rue de l'Arbalète.

DUFOUR (**Henri**), Professeur de Physique à l'Université La Casita, à Lausanne (Suisse).

DUHEM (**P.**), Professeur à la Faculté des Sciences, 18, rue de la Teste, à Bordeaux.

DUJARDIN (**P.-J.-R.**), Héliographe, 28, rue Vavin.

DUMOULIN-FROMENT, ancien Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs.

DUPAYS (**Charles**), Professeur au Lycée Janson de Sailly, 51, rue Scheffer, Villa 17, Passy-Paris.

DUPRÉ, Inspecteur honoraire de l'Académie de Paris, 136 *bis*, avenue de Neuilly, à Neuilly (Seine).

DUSSY, Professeur au Lycée, 46, rue Saint-Lazare, à Dijon.

DUTER, Professeur au Lycée Henri IV, 16, rue Bertin-Poiré.

DVORÁK (**Dr V.**), Professeur à l'Université d'Agram (Autriche-Hongrie).

DYBOWSKI (**A.**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 16, rue Rottembourg.

EBEL, Ingénieur en Chef du Secteur électrique des Champs-Élysées, 2, avenue des Ternes.

EDELBERG, Ingénieur opticien, à Kharkoff (Russie).

EGOROFF (**Nicolas**), Professeur de Physique à l'Académie de Médecine de Saint-Pétersbourg (Russie).

EGOROFF (**Serge**), Observateur à l'Observatoire de Paulauwsk, près Saint-Pétersbourg (Russie).

EIFFEL (**Gustave**), Ingénieur, 1, rue Rabelais.

ÉLIE (**B.**), Professeur au Collège, 90, rue de la Pointe, à Abbeville.

ENGEL, Professeur à l'École Centrale, 50, rue d'Assas.

ÉTIENNE (**Louis**), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées et de la Compagnie P.-L.-M., 50, boulevard Saint-Michel.

FABRY (**Charles**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 2, place de la Corderie, à Marseille.

FAILLOT, Professeur au Lycée de Nancy.

FAIVRE-DUPAIGRE (**J.**), Professeur au Lycée Saint-Louis, 95, boulevard Saint-Michel.

FAURE (**Camille A.**), Ingénieur, 35, avenue de la République.

FAVÉ, Ingénieur hydrographe de la Marine, 1, rue de Lille.

FAVARGER, Ingénieur électricien, à Neuchâtel (Suisse).

FERNET, Inspecteur général de l'Instruction publique, 23, avenue de l'Observatoire.

FERRAS, Professeur au Lycée, 2, place de l'École de Médecine, à Toulouse.

MM.

FIGUIER (Dr **Albin**), Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 17, place des Quinconces, à Bordeaux.

FIZEAU, Membre de l'Institut, 3, rue de l'Estrapade.

FONTAINE (**Hippolyte**), Ingénieur électricien, 52, rue Saint-Georges.

FONTAINE, Chimiste, 20, rue Monsieur-le-Prince.

FONTAINE (**Émile**), Professeur au Lycée, 4, rue du Tambour d'argent, à Sens.

FOURNIER (le Dr **Alban**), à Rambervillers (Vosges).

FOURTEAU, Proviseur du Lycée Janson de Sailly, 106, rue de la Pompe.

FOUSSEREAU, Secrétaire de la Faculté des Sciences, 56, boulevard de Port-Royal.

FOVEAU DE COURMELLE (le Dr), 26, rue Le Peletier.

FRICKER (le Dr), 10, rue Duperré.

FRIEDEL (**Ch.**) Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue Michelet.

FROC (le R. P.), à l'Observatoire de Zi-Ka-Weï, près Chang-Haï (Chine).

FRON, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 19, rue de Sèvres.

GAIFFE (**Georges**), Constructeur d'instruments de Physique, 40, rue Saint-André-des-Arts.

GAILLARD, Professeur au Lycée de Brest.

GAIN (**Edmond**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Nancy.

GALANTE, Constructeur d'instruments de Chirurgie, 2, rue de l'École-de-Médecine.

GALIMARD, Pharmacien de 1re classe, à Flavigny sur l'Ozerain (Côte-d'Or).

GALITZINE (Prince **Boris**), Membre de l'Académie Impériale des Sciences, à Saint-Pétersbourg (Russie).

GALL (**Henry**), Directeur de l'Usine des Produits chimiques, à Villers, par Hermes (Oise).

GALLOTTI, Professeur au Lycée de Châteauroux (Indre).

GARBAN, Inspecteur d'Académie, à Alençon.

GARBE, Professeur à la Faculté des Sciences de Poitiers.

GARÉ (l'Abbé), Professeur à l'École Saint-Sigisbert, à Nancy.

GARIEL (**C.-M.**), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine, 6, rue Édouard-Detaille.

GARNUCHOT, Professeur au Collège, 37, rue Saint-Barthélemy, à Melun.

GASCARD (**A.**), Professeur à l'École de Médecine, Pharmacien des hôpitaux, 14, rue Alsace-Lorraine, à Rouen.

GAUBERT, Horloger électricien, à Gruissan (Aude).

GAUTHIER-VILLARS, Imprimeur-Éditeur, ancien élève de l'École Polytechnique, 13, rue Singer.

GAUTHIER-VILLARS (**Albert**), Imprimeur-Éditeur, ancien élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins.

GAY (**Henri**), Professeur en congé, 53, rue de l'Avenir, aux Lilas (Seine).

MM.

GEITLER (Dr J. Chevalier de), Privat docent à l'Université de Prague (Autriche).

GAY (**Jules**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 16, rue Cassette.

GAYON, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de la Station agronomique, 41, rue Permantade, à Bordeaux.

GENDRON (**Rodolphe**), Préparateur de Physique à l'Institut catholique, 6, rue Gassendi.

GENEST (**Eugène**), Professeur à la Faculté libre des Sciences, 38, rue de Brissac, à Angers.

GEORGUIEWSKY (**Nicolas**), rue Schpalernaja, maison 30, Log. 3 à Saint-Pétersbourg (Russie).

GÉRARD (**Anatole**), Ingénieur électricien, 16, rue des Grandes-Carrières.

GÉRARD (**Éric**), Professeur à l'Université, Directeur de l'Institut électrotechnique de Montefiore, 43, rue Saint-Gilles, à Liège (Belgique).

GERNEZ, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, 18, rue Saint-Sulpice.

GHESQUIER (l'Abbé), Professeur à l'Institution Notre-Dame-des-Victoires, 76, rue du Collège, à Roubaix.

GILBAULT, Professeur au Lycée, 31, rue Pargaminières, à Toulouse.

GINSBERG (**Alexandre**), Opticien, Ingénieur de la maison Krauss et Cie, 3, rue Berthollet.

GIRARD (**Charles**), Directeur du Laboratoire municipal, 7, rue du Bellay.

GIRARDET, Professeur honoraire au Lycée Saint-Louis, ancien Membre du Conseil supérieur de l'Instruction publique, 90, rue Claude-Bernard.

GIRAULT, Professeur au Collège Chaptal, 8, rue Claude-Pouillet.

GIROUX, Ingénieur opticien, successeur de M. Roulot, 58, quai des Orfèvres.

GIVERT, Professeur au Lycée de Rennes.

GODARD (**Léon**), Docteur ès sciences, 20, rue Monsieur-le-Prince.

GODART, Professeur au Collège, 9, rue de Lancry, à Compiègne.

GODEFROY (l'Abbé **L.**), Ancien Professeur de Chimie à l'Institut catholique.

GODFRIN, Professeur au Lycée, 12, rue André, à Lille.

GODRON (**Henri**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 9, rue des Grandes-Poteries, à Alençon.

GODY (**G.**), Architecte du département des travaux publics, 15, rue du Viaduc, Bruxelles (Belgique).

GOLAZ (**L.**), Constructeur d'instruments à l'usage des Sciences, 282, rue Saint-Jacques.

GOLDHAMMER (**Démétrius**), Professeur de Physique à l'Université de Kasan (Russie).

GOLOUBITZKY (**Paul**), Collaborateur de la Société des Amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

GOSSART (**Fernand**), Docteur en droit, 15, rue Tronchet.

GOSSART (**Émile**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 45, cours d'Albret, à Bordeaux.

MM.

GOURÉ DE VILLEMONTÉE, Professeur au Lycée Buffon, 31, rue de Poissy.

GOUY (G.), Professeur à la Faculté des Sciences, 68, rue de la Charité, à Lyon.

GRAJON (A.), Docteur en Médecine, à Vierzon.

GRAMONT (**Arnaud de**), Docteur ès Sciences physiques, 81, rue de Lille.

GRAU (**Félix**), Professeur au Lycée de Troyes.

GRAY (**Robert Kaye**), Ingénieur électricien de l'India-Rubber, Gutta-percha and Telegraph Works C°, Silwertown, Essex, à Londres (Angleterre).

GREFFE, Professeur au Lycée de Périgueux.

GRÉHANT (Dr), Professeur de Physiologie générale au Muséum, 17, rue Berthollet.

GRELLEY, Directeur de l'École Supérieure du Commerce, 102, rue Amelot.

GREZEL (**Louis**), Professeur de Physique au Collège d'Autun.

GRIPON, Professeur à la Faculté des Sciences, 12, rue du Mont-Thabor, à Rennes.

GRIVEAUX, Professeur au Lycée, 16, rue Montbrillant, à Mont-Plaisir, Lyon.

GROGNOT (**L.**), Chimiste, Essayeur du Commerce, rue du Bourg, à Chantenay-sur-Loire (Maison Chopin) (Loire-Inférieure).

GROOT (le P. **L.-Th. de**), Kerkstraat, 14, Oudenbosch (Hollande).

GROSSETESTE (**William**), Ingénieur civil, 11, rue des Tanneurs, à Mulhouse (Alsace).

GROUVELLE, Ingénieur, Professeur à l'École Centrale, 18, avenue de l'Observatoire.

GRUEY-VIARD, Constructeur d'instruments de Physique, rue de la Liberté, à Dijon.

GUEBHARD (Dr **Adrien**), Agrégé de Physique de la Faculté de Médecine, à Saint-Vallier de Thiey (Alpes-Maritimes).

GUERBY (**A.**), Professeur en retraite, boulevard Fragonard, à Grasse (Alpes-Maritimes).

GUÉROULT (**Georges**), Trésorier-Payeur général, 5 *bis*, rue de Fougères, à Rennes.

GUILLAUME (**Ch.-Ed.**), Docteur ès sciences, attaché au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

GUILLEMIN (l'abbé), Professeur de Sciences mathématiques et physiques à l'Externat de la rue de Madrid, 1, avenue Marigny.

GUILLOZ (Dr **Th.**), Agrégé-Chef des travaux du laboratoire de Physique médicale à la Faculté de Médecine, 7, rue Saint-Nicolas, à Nancy.

GUINARD (**A.**), Armurier, 8, avenue de l'Opéra.

GUINCHANT, Agrégé des Sciences physiques à l'Institut chimique de Nancy.

GUNTZ, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue de l'Hospice, à Nancy.

GUYE (**Philippe A.**), Docteur ès sciences, Professeur de Chimie à l'Université de Genève (Suisse).

GUYE (**Ch.-Ed.**), Docteur ès sciences, 83, route de Chêne, à Genève (Suisse).

HAGENBACH-BISCHOFF, Professeur à l'Université de Bâle (Suisse).

MM.

HALE (**George**), Directeur de l'Observatoire, Chicago (États-Unis).

HALLER (**A.**), Professeur de Chimie générale à la Faculté des Sciences de Nancy.

HANRIOT, Professeur honoraire de Physique de la Faculté des Sciences de Lille à Joppécourt, par Mercy-le-Bas (Meurthe-et-Moselle).

HARTL (Colonel), Attaché à l'Institut géographique militaire de Vienne (Autriche).

HAUDIÉ (**Edgard**), Professeur au Lycée, 3, rue Ambroise-Paré, à Laval.

HEMARDINQUER (**Ch.**), Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 38, rue de Turenne.

HÉMOT (**Alphonse**), Constructeur d'instruments de précision, 1, rue Vauquelin.

HENOCQUE (le Dr), Directeur-adjoint au Laboratoire de Médecine de l'École des Hautes Études au Collège de France, 11, avenue Matignon.

HENRY (**Édouard**), Professeur au Lycée, 47, rue de la Comédie, à Lorient.

HENRY (**A.**), Professeur au Lycée, 1, rue du Trésor, à Reims.

HEPITÈS (**Stefan**), Directeur de l'Institut météorologique de Roumanie, à Bucarest.

HESEHUS (**N.**), Professeur à l'Institut Technologique, à Saint-Pétersbourg (Russie).

HIGISMOND (Frère), Professeur de Physique à l'École des Francs-Bourgeois, 212, rue Saint-Antoine.

HILLAIRET (**André**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 22, rue Vicq-d'Azir.

HIRSCH, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 1, rue Castiglione.

HODIN, Inspecteur d'Académie, à Mende.

HOMÉN (**Theodor**), Docteur ès sciences, agrégé à l'Université d'Helsingfors (Finlande).

HOSPITALIER, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 12, rue de Chantilly.

HOSTEIN, Professeur au Lycée, 37, rue Isabey, à Nancy.

HOULLEVIGUE, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Lyon.

HUDELOT, Répétiteur à l'École Centrale, 10, rue Saint-Louis-en-l'Ile.

HUGON, Ingénieur, 77, rue de Rennes.

HURION, Professeur à la Faculté des Sciences, 65, rue Blattin, Clermont-Ferrand.

HURMUZESCU (**Dragomir**), Docteur ès sciences, à Bucarest (Roumanie).

HUSSON (**Léon**), Contrôleur du Câble télégraphique à Haïphong (Tonkin).

HUTIN (**Maurice**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 10, avenue Trudaine.

IMBAULT (**G.**), Professeur au Lycée de Tunis (Tunisie).

IMBERT (**Armand**), Professeur de Physique à la Faculté de Médecine de Montpellier.

INFREVILLE (**Georges d'**), Ex-Électricien de la *Western Union Telegraph C°*, Expert de la *National Bell Telephone C°*, 110, Liberty street, à New-York (États-Unis).

MM.

IVANOFF (**Basile**), Licencié ès sciences (maison Ivanoff), à Simpheropol Russie).

IZARN (**Joseph**), Professeur au Lycée Pascal, 2, rue d'Amboise, à Clermont-Ferrand.

JAMBART, Professeur au Lycée de Coutances.

JANET (**Paul**), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, Directeur du Laboratoire central d'Électricité, 180, boulevard Saint-Germain

JANNETTAZ (**Ed.**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, Assistant de Minéralogie au Muséum, 86, boulevard Saint-Germain.

JANSSEN, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire d'Astronomie physique, à Meudon.

JARNIGON (**Georges**), Ingénieur électricien, 33, rue du faubourg Saint-Antoine.

JARRE (**L.**), 2, rue des Pyramides.

JAUBERT (D[r] **Georges**), Chimiste, 102, route de Carouge, à Genève (Suisse).

JAUMANN (D[r] **G.**), Professeur de Chimie et de Physique de l'Université de Prague (Autriche).

JAVAL, Membre de l'Académie de Médecine, Directeur du Laboratoire d'Ophtalmologie de la Faculté des Sciences, 52, rue de Grenelle.

JAVAUX (**Émile**), Directeur de la Société des ateliers Gramme, 33, rue Clavel.

JÉNOT, Professeur honoraire au Collège Rollin, 17, rue Caulaincourt.

JEUNET, ancien Professeur, 15, avenue de la Défense de Paris, à Puteaux (Seine).

JOANNIS (l'abbé **de**), Licencié ès Sciences physiques et mathématiques, 15, rue Monsieur.

JOBIN (**A.**), ancien élève de l'École Polytechnique, successeur de M. Léon Laurent, 21, rue de l'Odéon.

JOLY, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 2 *bis*, square du Croisic.

JOSEPH (**Paul**), ancien élève de l'École Polytechnique, 26, avenue de Montsouris.

JOUBERT, Inspecteur général de l'Instruction publique, 67, rue Violet.

JOUBIN, Professeur à la Faculté des Sciences de Besançon.

JOUKOWSKI (**Nicolas**), Professeur de Mécanique à l'Université et à l'École des Hautes Études de Moscou (Russie).

JOYEUX (**Eugène**), 10, avenue de Bellevue, à Sèvres.

JUNGFLEISCH, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 38, rue des Écoles.

KAPOUSTINE (**Théodore**), Professeur de Physique à l'Université de Tomsk (Sibérie).

KELVIN (**Sir William Thomson, Lord**) F. R. S., Professeur à l'Université de Glascow (Écosse).

KERANGUÉ (**Yves de**), Capitaine en retraite, à Kernouël, près Paimpol (Côtes-du-Nord).

MM.

KNOLL, Préparateur de Physique au Lycée Louis-le-Grand.

KŒCHLIN (Horace), Chimiste, 19, avenue du Mont-Riboudet, à Rouen.

KŒNIG, Constructeur d'instruments d'Acoustique, 27, quai d'Anjou.

KOROLKOFF (Alexis), Lieutenant-colonel d'Artillerie russe, Professeur de Physique à l'Académie d'Artillerie de Saint-Pétersbourg (Russie).

KOTCHOUBEY, Président de la Société Impériale Polytechnique, à Saint-Pétersbourg (Russie).

KOWALSKI, Professeur à l'École supérieure du Commerce et de l'Industrie, 1, rue de Grassi, à Bordeaux.

KOWALSKI (Joseph de), Professeur à l'Université de Fribourg (Suisse).

KROUCHKOLL, Docteur ès sciences et Docteur en Médecine, Chef des Travaux pratiques de Physique, à la Faculté des Sciences, 6, rue Édouard-Detaille.

LABATUT, Professeur suppléant à l'École de Médecine et de Pharmacie de Grenoble.

LACOUR (Alfred), Ingénieur civil des Mines, 60, rue Ampère.

LAFFARGUE (Joseph), Licencié ès Sciences physiques, Ingénieur électricien, 70, boulevard Magenta.

LAFLAMME (l'abbé), Membre de la Société Géologique de France, Doyen de la Faculté des Sciences, à l'Université Laval, à Québec (Canada).

LAFOREST (Général Comte **de**), 3, cours de la République, à Libourne.

LAGRANGE (L.), Professeur de Physique à l'École militaire, 60, rue des Champs-Élysées, à Bruxelles (Belgique).

LALA (Ulysse), Docteur ès sciences, Chef des Travaux de Physique à la Faculté des Sciences, Professeur de Mécanique à l'École des Beaux-Arts et des Sciences industrielles, 11, rue d'Aubuisson, à Toulouse.

LALANDE (F. de), Ingénieur civil des Mines, ancien élève de l'École Polytechnique, 183, boulevard Saint-Germain.

LAMIRAND, Professeur au Lycée de Montpellier.

LAMOTTE, Agrégé, Préparateur au Laboratoire d'Enseignement de la Faculté des Sciences, 9, rue Berthollet.

LANCELOT, Constructeur d'instruments d'Acoustique, 70, avenue du Maine.

LANGLADE, Ingénieur de la Cie d'éclairage électrique, 67, rue de Seine.

LAPRESTÉ, Professeur au Lycée Buffon, 7, rue Charlet.

LAROCHE (Félix), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 110, avenue de Wagram.

LAROCQUE, Directeur de l'École des Sciences, à Nantes.

LAROUSSE (Auguste), Chargé de Cours au Lycée, 16, boulevard de Vesone, à Périgueux.

LATCHINOW, Professeur à l'Institut du corps forestier, à Saint-Pétersbourg (Russie).

LATOUR, Professeur honoraire, 4 *bis*, rue Daillière, à Angers.

LAURENT (Léon), Constructeur d'instruments d'Optique, 21, rue de l'Odéon.

MM.

LAURIOL (**P.**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 83, boulevard Saint-Michel.

LAVIÉVILLE, Sous-Directeur des Études scientifiques au Lycée Saint-Louis.

LAVERDE (Dr **Jésus Oloya**), à Bucaramanga (États-Unis de Colombie).

LAWTON (**George Fleetwood**), Ingénieur-Directeur de l'Eastern Telegraph C°, à Marseille.

LEBARD (**P.**), Professeur au Lycée d'Angoulême.

LEBEDEW (**Jean**), Adjoint à l'Académie de Médecine de Saint-Pétersbourg (Russie).

LE BEL (**J.-A.**), Ancien Président de la Société chimique, 25, rue Franklin.

LEBLANC (**Maurice**), ancien élève de l'École Polytechnique, 63, allée du Jardin-Anglais, au Raincy.

LE BON (Dr **G.**), 29, rue Vignon.

LECAT, Professeur au Lycée Janson de Sailly, 7, rue Gustave-Courbet.

LECHAT, Professeur honoraire du Lycée Louis-le-Grand, 4, rue de Calais.

LE CHATELIER (**André**), Ingénieur des Constructions navales, 25, cours Gambetta, à Lyon.

LE CHATELIER (**Henry**), Ingénieur des Mines, Professeur de Chimie générale à l'École des Mines, 73, rue Notre-Dame-des-Champs.

LE CHATELIER (**Louis**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 95, rue de Rennes.

LE CORDIER (**Paul**), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences 3, rue Lecoq à Clermont-Ferrand.

LEDEBOER, Docteur ès sciences, Villa Montmorency, 5, avenue du Square, à Auteuil.

LEDUC, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 1, rue Michelet.

LEDUC (Dr **Stephane**), Professeur à l'École de Médecine, 5, quai de la Fosse, à Nantes.

LEFEBVRE, Capitaine au 95e d'infanterie, au camp d'Avor.

LEFEBVRE (**E.**), Professeur honoraire à Menotey (Jura).

LEFEBVRE (**Pierre**), Professeur au Lycée, 34, rue de Bellaing, à Douai.

LEFEVRE (**Julien**), Professeur au Lycée, 2, place Saint-Pierre, à Nantes.

LEFEVRE, Préparateur de Physique au Lycée d'Amiens.

LEJEUNE (**L.**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Associé de M. Ducretet, 75, rue Claude-Bernard.

LELORIEUX (**V.**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 13, rue Soufflot.

LEMOINE (**E.**), ancien élève de l'École Polytechnique, 5, rue Littré.

LEMOINE (**Georges**), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Examinateur de sortie à l'École Polytechnique, 76, rue d'Assas.

LEMOINE (**Jules**), Professeur au Lycée Saint-Louis, 72, rue Claude-Bernard.

LEMSTRÖM (**Selim**), Professeur de Physique à l'Université de Helsingfors (Finlande).

LÉON (**Gustave**), Ingénieur des Mines, à Valenciennes.

LEPERCQ (**Gaston**), Professeur de Chimie à la Faculté libre, 25, rue du Plat, à Lyon.

MM.

LEQUEUX (P.), Ingénieur des Arts et Manufactures, 64, rue Gay-Lussac.

LERAY (l'Abbé **Ad.**), Eudiste, 23, rue des Fossés-Saint-Jacques.

LERMANTOFF, Préparateur au Cabinet de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

LE ROUX, Examinateur à l'École Polytechnique, 120, boulevard Montparnasse.

LEROY, Professeur au Lycée Michelet, 245, boulevard Raspail.

LEROY, Médecin-Major de 1re classe au 160e régiment d'infanterie, à Toul.

LESAGE, Professeur au Lycée de Châteauroux.

LESOBRE, Professeur au Collège de Melun.

LESPIAULT, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

LEUILLIEUX (Dr), Médecin de la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest à Conlie (Sarthe).

LEVENS, villa Le Cottage, à Saint-Jean sur Mer, près Nice.

LÉVY (Armand), Professeur de Physique, rue de Cazault, 120, à Alençon.

LHUILLIER, Professeur au Prytanée de La Flèche, 5, rue de la Nation.

LIMB (Claudius), Ingénieur, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 104, rue d'Assas.

LIPPICH (Fr.), Professeur à l'Université de Prague (Autriche).

LIPPMANN, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 10, rue de l'Éperon.

LOISELEUR, Professeur au Collège; 92, rue de Lyon, à Libourne.

LORRAIN (James-Grieves), Consulting Engineer Norfolk House, Norfolk street, London. W. C. (Angleterre).

LOUGUININE (W.), Dr honoraire, Professeur de Thermochimie à l'Université de Moscou (Russie).

LUBOSLAWSKY (Gennady), Préparateur à l'Institut forestier de Saint-Pétersbourg (Russie).

LUCCHI (Dr **Guglielmo de**), Professeur de Physique au Lycée royal Tito Livio, Padoue (Italie).

LUGGIN (Dr **H.**), au laboratoire du Professeur Arrhénius, à Stockholm (Suède).

LUGOL (Paul), Professeur au Lycée, cité Chabrol, à Clermont-Ferrand.

LUMIÈRE (Auguste), Ingénieur-Chimiste, cours Gambetta, à Monplaisir (Lyon).

LUMIÈRE (Louis), Ingénieur-Chimiste, cours Gambetta, à Monplaisir (Lyon).

LUSSANA (Silvio), Docteur ès Sciences physiques à l'Institut Physique de l'Université de Sienne (Italie).

LYON (Gustave), ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 24 *bis*, rue Rochechouart.

MACÉ DE LÉPINAY, Professeur à la Faculté des Sciences, 105, boulevard Longchamps, à Marseille.

MACH (Dr **E.**), Professeur de Physique à l'Université, IV Schleifmühlgasse 8, à Vienne (Autriche).

MACK, Étudiant, 15, rue de l'Estrapade.

MM.

MACQUET (Auguste), Ingénieur au corps des Mines, Directeur de l'École provinciale d'Industrie et des Mines du Hainaut, 22, boulevard Dolez, à Mons (Belgique).

MADAMET, Directeur des Forges et Chantiers de la Méditerranée, à Marseille.

MAGNE (P.), Directeur-Ingénieur du contrôle des Postes et des Télégraphes, 34, avenue de Villiers.

MAIGRET (Dr), 86, avenue de la République, à Montrouge (Seine).

MAINGIE, Docteur ès Sciences physiques et mathématiques, 218, avenue de la Reine, à Laeken, Bruxelles (Belgique).

MAISONOBE, Capitaine d'Artillerie, ateliers de construction, 3 *bis*, rue de la Chappe, à Bourges.

MALDINEY (J.), Président de la Société de Photographie du Doubs, Préparateur à la Faculté des Sciences de Besançon.

MALLY (Dr Francis), 47, rue de Rome.

MALOSSE, Professeur à l'École de Médecine d'Alger.

MALTÉZOS, Docteur ès sciences, 6, rue Flatters.

MAMY (J.), Professeur au Lycée, 15, rue Thibaudeau, à Poitiers.

MANEUVRIER, Agrégé de l'Université, Directeur-Adjoint du Laboratoire des recherches (physiques) à la Sorbonne, 54, rue Notre-Dame-des-Champs.

MANY, Professeur de Physique à l'École des Ponts et Chaussées, à Bucarest (Roumanie).

MARAGE (Dr), Docteur ès sciences, 15, place de la Madeleine.

MARCHIS, Professeur au Lycée de Caen.

MAREY, Membre de l'Institut, 11, boulevard Delessert.

MARIA (Emile), Professeur à l'École Turgot, 14, rue de Longchamp.

MARIE, Préparateur de Physique au Lycée Charlemagne.

MARSAL (A.) Professeur au Lycée d'Agen.

MARTIN (Ch.), rue de Bonneval, à Chartres.

MARTIN (Georges), Ingénieur de la station d'éclairage électrique, 67, rue Rousseau, à Bar-le-Duc.

MARTIN (Joanny), Préparateur à la Faculté des Sciences, 6, rue des Capucins, à Lyon.

MARTINET, Professeur au Lycée Janson de Sailly, 5, rue de l'Amiral-Courbet.

MARTINET, Professeur au Prytanée militaire, à la Flèche.

MASCART, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, Directeur du Bureau central météorologique, 176, rue de l'Université.

MASSE (Maurice), ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur des Mines, place du Vœu, à Nice.

MASSIN, Ingénieur des Télégraphes, au Dépôt de l'Administration des Postes et Télégraphes.

MASSON (G.), Libraire-Éditeur, 120, boulevard Saint-Germain.

MATHIAS (Émile), Professeur à la Faculté des Sciences, 22, rue Sainte-Anne à Toulouse.

MM.

MATHIEU, Professeur au Lycée de Cherbourg.

MAUMENÉ (**E.**), 91, avenue de Villiers.

MAUPEOU D'ABLEIGES (**de**), Ingénieur de la Marine, à Lorient.

MAURAIN (**Charles**), Agrégé-Préparateur au Collège de France.

MAURAT, Professeur honoraire au Lycée Saint-Louis, à Rochecorbon (Indre-et-Loire).

MELANDER, Préparateur à l'Université d'Helsingfors (Finlande).

MENDIZABAL TAMBORREL (**de**), Ingénieur géographe, à Mexico (Mexique).

MÉNIER (**Henri**), 8, rue de Vigny.

MERCADIER, Directeur des Études à l'École Polytechnique, 21, rue Descartes.

MERGIER (Dr), Préparateur des travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine de Paris, 27, avenue d'Antin.

MÉRITENS (**de**), Ingénieur, 74, boulevard de Clichy.

MERLE (**Antoine**), Propriétaire de la maison Brunot-Court, boulevard Victor-Hugo, à Grasse.

MERLIN (**Paul**), Professeur au Lycée, 78, faubourg Vincent, à Châlons-sur-Marne.

MESLIN, Professeur à la Faculté des Sciences, 10, Boulevard Ledru-Rollin, Montpellier.

MESTRE, Ingénieur à la Cie des chemins de fer de l'Est, 168, rue Lafayette.

MÉTRAL (**Pierre**), Agrégé des Sciences physiques, Professeur à l'École Colbert, 239*bis*, rue Lafayette.

MEYER, Directeur de la Compagnie continentale Edison, 38, rue Saint-Georges.

MEYLAN, Ingénieur, 24, avenue du Nord, au Parc Saint-Maur (Seine).

MICHEL (**Auguste**), Constructeur d'instruments de Physique, 92, rue de Bondy.

MICHELSON (**Albert**), Professeur à l'Université de Chicago (États-Unis).

MICULESCU (**Constantin**), Professeur à l'Université de Bucarest (Roumanie).

MILLARD (**John-A.**), Docteur en Médecine, au château Sunnyside, à Dinard-Saint-Enogat (Ille-et-Vilaine).

MINGASSON, Professeur au Lycée de Toulon.

MISLAWSKY (Dr), Professeur agrégé de Physiologie à l'Université de Kasan (Russie).

MOESSARD, Colonel du Génie, 58, rue de Vaugirard.

MOINE, Professeur de Physique au Lycée de Brest.

MOLTENI (**A.**), Ingénieur constructeur, 44, rue du Château-d'Eau.

MONNIER (**D.**), Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 1, rue Appert.

MONNORY (**Henri**), Professeur au Lycée Hoche, 19, rue Maurepas, à Versailles.

MONOYER, Professeur à la Faculté de Médecine de Lyon.

MM.

MONTEFIORE (Levi), Sénateur, Ingénieur, Fondateur de l'Institut électrotechnique, 35, rue de la Science, à Bruxelles (Belgique).

MONTEIL (Silvain), Juge de Paix à Châteauneuf-la-Forêt (Haute-Vienne).

MONTHIERS (Maurice), 50, rue Ampère.

MORANA (Ignace), Électricien, à Ragusa (Sicile).

MOREAU (Georges), Professeur à la Faculté des Sciences, 13, rue Tronjolly, à Rennes.

MORELLE, Constructeur-Mécanicien, 39, avenue d'Orléans.

MORIN (Pierre), Professeur au Lycée, 25, rue Barathon, à Montluçon.

MORISOT (J.), Professeur à la Faculté des Sciences, 29, rue Lamourous, à Bordeaux.

MORIZOT, Chargé de Cours au Lycée de Chaumont.

MORS, Ingénieur, fabricant d'appareils électriques, 8, avenue de l'Opéra.

MOSER (Dr James), Privat-Docent à l'Université, 25, Laudon-gasse, Vienne VIII (Autriche).

MOUCHOT, Professeur en retraite, 56, rue Dantzig (5, passage Dantzig).

MOULIN (Honoré), Capitaine au 26e d'Artillerie, au Mans.

MOUREAUX (Th.), Météorologiste, Chef du service magnétique à l'Observatoire du Parc Saint-Maur (Seine).

MOURGUES, Conservateur du Musée minéralogique, Directeur du Laboratoire de Minerie, Professeur de Chimie à l'Université, Casilla, 97, à Santiago (Chili).

MOUSSELIUS (Maximilien), Employé à l'administration centrale des Télégraphes, rue Torgowaïa n° 13, Log. 4, à Saint-Pétersbourg (Russie).

MUIRHEAD (Dr Alexandre) F. C. S., 5, Cowley Street, Westminster, S. W. Londres.

MUKHOPADHYAY (Asutosh), Membre de la Société de Physique de Londres, 77, Russa Road north, Bhowanipore, à Calcutta (Indes).

MÜLLER, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences (Institut chimique) de Nancy.

NACHET (A.), Constructeur d'instruments d'Optique, 17, rue Saint-Séverin.

NACHET (Camille), Constructeur d'instruments d'Optique, 7, rue des Gravilliers.

NAMBA MASSASHI, à Sendaï (Japon).

NEGREANO (D.), Directeur du laboratoire de Physique de l'Université de Bucarest (Roumanie).

NERVILLE (de), Ingénieur des Télégraphes, 116, boulevard Haussmann.

NEUBURGER, Professeur au Lycée, 11, avenue du Vieux-Marché, à Orléans.

NEYRENEUF, Professeur à la Faculté des Sciences de Caen.

NODON (Albert), Ingénieur conseil, 134, boulevard Voltaire.

NODOT, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 1, rue Ch. de Vergennes, à Dijon.

NOË (Charles), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 8, rue Berthollet.

MM.

NOGUÉ (**Émile**), Attaché à la Maison Pellin-Duboscq, 138, rue d'Assas.

NOLOT, Professeur au Lycée de Roanne.

NOTHOMB (**Louis**), Professeur de télégraphie technique à l'École de Guerre, 91, avenue Louise, à Bruxelles (Belgique).

NOUGARET (**Élie**), Censeur du Lycée de Toulouse.

OBSERVATOIRE DU BUREAU DES LONGITUDES, à Montsouris.

OFFRET (**Albert**), Professeur de Minéralogie à la Faculté des Sciences, 135, avenue de Saxe, à Lyon.

OGIER (**Jules**), Docteur ès sciences, Chef du laboratoire de Toxicologie, 1, quai d'Orsay.

OLIVIER (**Louis**), Docteur ès sciences, Directeur de la *Revue générale des Sciences pures et appliquées,* 34, rue de Provence.

OLLIVIER (**A.**), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.

ONDE, Professeur au Lycée Henri IV, 41, rue Claude-Bernard.

OUMOFF (**Nicolas**), Professeur de Physique à l'Université de Moscou (Russie).

OZENNE, Aide au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

PAILLARD-DUCLÉRÉ (**Constant**), Secrétaire d'Ambassade, 96, boulevard Haussmann.

PAILLOT, Chef des Travaux pratiques à la Faculté des Sciences, 32, rue Brule-Maison, à Lille.

PALAZ (**Adrien**), Docteur ès sciences, Professeur d'Électricité industrielle à l'Université de Lausanne (Suisse).

PALMADE, Professeur au Lycée de Bordeaux.

PALMADE (**F.**), Capitaine du Génie, Adjoint au Commandant de l'École du Génie, à Versailles.

PANZANI (**J.-P.**), Licencié ès Sciences mathématiques et physiques, Directeur de l'École Descartes, 46, rue de la Tour.

PARAYRE (l'abbé **D.**), Directeur de l'École Saint-Sauveur, à Saint-Germain en-Laye.

PARENTHOU (**Émile**), Ingénieur, 47, rue Denfert-Rochereau.

PARISSE, Ingénieur des Arts et Manufactures, 49, rue Fontaine-au-Roi.

PARMENTIER, 21, avenue de la Toison-d'Or, à Bruxelles (Belgique).

PATENT OFFICE LIBRARY, à Londres (Angleterre).

PAVILLARD, Professeur au Lycée de Montpellier.

PAVLIDÈS (**Démosthènes**), Docteur en Médecine, 14, rue Cadet.

PAYN (**John**), Directeur de l'Eastern Telegraph C°, au Caire (Égypte).

PÉLABON (**H.**) Chargé de Conférences de Chimie à la Faculté des Sciences de Lille.

PELLAT (**H.**), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 3, avenue de l'Observatoire.

PELLERIN, Professeur de Physique à l'École de Médecine, 9, quai Richebourg, à Nantes.

MM.

PELLIN (**Philibert**), Ingénieur des Arts et Manufactures, successeur de M. Jules Duboscq, 21, rue de l'Odéon.

PÉRARD (**L.**), Professeur à l'Université, 101, rue Saint-Esprit, à Liége (Belgique).

PERNET (Dr **J.**), Professeur à l'École Polytechnique, 84, Hofstrasse, à Zurich (Suisse).

PERNIN (**Réné**), Directeur de la Station centrale d'Électricité, à Troyes.

PÉROT (**Alfred**), Professeur d'Électricité industrielle à la Faculté des Sciences, 119, boulevard de Longchamps, à Marseille.

PERREAU, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Nancy.

PETIT (**Paul**), Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy.

PETIT (**Paul**), Professeur au Lycée de Foix.

PETITEAU (**Marcel**), Professeur au Lycée de Nantes.

PÉTROFF, Professeur à l'Institut Technologique, Directeur du Département des chemins de fer au Ministère des voies et communications, à Saint-Pétersbourg (Russie).

PEYRARD (**Henri**), Répétiteur au Lycée Lakanal, à Sceaux (Seine).

PEYRUSSON (**Édouard**), Professeur de Chimie et de Toxicologie à l'École de Médecine et de Pharmacie de Limoges.

PFAUNDLER (**Léopold**), Professeur à l'Université de Gratz (Autriche).

PHILBERT, Ancien receveur des télégraphes, 32, faubourg de Fougères, à Rennes.

PHILIPPE (**A.**), Professeur au Lycée, 5, rue de l'Abbatoir, à Bourges.

PHILIPPON (**Paul**), Répétiteur au Laboratoire d'Enseignement de la Sorbonne, 166, boulevard Montparnasse.

PICART (**A.**), Fabricant d'instruments de précision, 20, rue Mayet.

PICOU, Ingénieur des Arts et Manufactures, 75, avenue de la Grande-Armée.

PILLEUX, Électricien, 79, rue Claude-Bernard.

PILLON (**André**), Ingénieur des Arts et Manufactures, successeur de M. Deleuil, 42, rue des Fourneaux.

PILTSCHIKOFF (**Nicolas**), Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

PIONCHON, Professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble.

PISCA (**Michel**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 89, rue de Tocqueville.

POINCARÉ (**Antoni**), Inspecteur général des Ponts et Chaussées, 14, rue du Regard.

POINCARÉ (**Lucien**), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, 17, rue d'Assas.

POINTELIN, Professeur de Physique au Lycée d'Amiens.

POIRÉ, Membre du Conseil supérieur de l'Instruction publique, Professeur au Lycée Condorcet, 84, boulevard des Batignolles.

POLLARD (**Jules**), Ingénieur de la Marine, 28, rue Bassano.

POMEY (**J.-B.**), Inspecteur-Ingénieur des Télégraphes, 33, rue de Coulmiers.

PONSELLE (**Georges**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 114, avenue de Wagram.

MM.

PONSOT, Docteur ès Sciences, Professeur au Lycée Condorcet, 28, rue Vauquelin.

POPOFF (Alexandre), Professeur à l'École des Torpilleurs marins, Classe des officiers de Marine, à Cronstadt (Russie).

POPP (Victor), Administrateur-Directeur de la Compagnie des horloges pneumatiques, 54, rue Étienne-Marcel.

PÖPPER (Josef), ancien élève de l'École Polytechnique de Vienne, Ingénieur constructeur de machines, VII, Westbahnstrass, 29, à Vienne (Autriche).

POTIER, Membre de l'Institut, Ingénieur en chef des mines, 89, boulevard Saint-Michel.

POUSSIN (Alexandre), Ingénieur, au Château de La Houblonnière, par Lisieux.

PRÉAUBERT (E.), Professeur au Lycée, 13, rue Proust, à Angers.

PRÉOBRAJENSKI (Pierre), au Musée Polytechnique, à Moscou (Russie).

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Londres (Angleterre).

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg (Russie).

PRETORIANO (Marin), Professeur à l'École militaire de Craïova (Roumanie).

PUPIN, Secrétaire de la Faculté de Médecine de Paris.

PUYFONTAINE (Comte **de**), 34, avenue Friedland.

QUEFFELLEC (Auguste), Licencié ès Sciences, Professeur au Collège Notre-Dame des Dunes, à Dunkerque.

QUESNEVILLE (Dr), Professeur agrégé, à l'École supérieure de Pharmacie, 1, rue Cabanis.

RADIGUET, Opticien constructeur, 15, boulevard des Filles-du-Calvaire.

RAFFARD, Ingénieur civil, 5, avenue d'Orléans.

RAMEAU (l'abbé), Professeur de Physique à l'Institution Saint-Cyr, à Nevers.

RANQUE (Paul), Docteur en Médecine, 13, rue Champollion.

RAU (Louis), Administrateur délégué de la Compagnie Continentale Edison, 7, rue Montchanin.

RAVEAU, Répétiteur à l'Institut national agronomique, 5, rue des Écoles.

RAYET, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

RAYMOND (Eugène), Ingénieur de la Marine, à Toulon.

RECHNIEWSKI, Ingénieur électricien, 11, rue Lagrange.

RECOURA (Albert), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Lyon.

RÉGNARD (Dr P.), Membre de l'Académie de Médecine, Sous-Directeur du Laboratoire de Physiologie de la Faculté des Sciences, 224, boulevard Saint-Germain.

RENARD (Charles), Chef de bataillon du Génie, Directeur de l'Établissement central d'Aérostation militaire, 7, avenue de Trivaux, à Chalais-Meudon.

RENAULT (A.), Licencié ès Sciences physiques, 25, rue Brezin.

RIBAN (Joseph), Directeur adjoint du Laboratoire d'enseignement chimique et des Hautes Études, 85, rue d'Assas.

MM.

RIBIÈRE (Charles), Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées (service des Phares), 13, rue Mignard.

RICHARD (Jules), Ingénieur-Constructeur, 8, impasse Fessart (Belleville).

RICHET (Ch.), Professeur à la Faculté de Médecine, 15, rue de l'Université.

RIGOLLOT, Chef des Travaux pratiques à la Faculté des Sciences de Lyon.

RIVIÈRE (Charles), Professeur au Lycée Saint-Louis, 81, boul. Saint-Michel.

RIVOIRE (Arthur), 22, rue Rochechouart.

ROBERT (A.-C.), Ingénieur des Arts et Manufactures, 38, rue Saint-Sulpice.

ROBIN (P.), 6, rue Haxo.

RODDE (Ferd.), 61, rue Rochechouart.

RODDE (Léon), 107, rua do Ouvidor, à Rio-Janeiro (Brésil).

RODOCANACHI (Emmanuel), 54, rue de Lisbonne.

ROGER (Albert), rue Croix-de-Bussy, à Épernay.

ROGER (J.), Chef d'Institution honoraire, 7, rue Faustin-Hélie.

ROGOWSKY (Eugène), Professeur au Laboratoire de Physique de l'Université, à Saint-Pétersbourg (Russie).

ROIG Y TORRES (Raphaël), Professeur à la Faculté des Sciences de Barcelone (Espagne).

ROLLAND, Professeur au Lycée de Chartres.

ROMILLY (Félix de), 25, avenue Montaigne.

ROMILLY (Paul de), Ingénieur en Chef des Mines, 7, rue Balzac.

ROSENSTIEHL, Chimiste, Directeur de l'usine Poirier, 61, route de Saint-Leu, à Enghien.

ROTHSCHILD (Baron **Edmond de**), 41, rue du Faubourg Saint-Honoré.

ROUSSEAU, Professeur à l'Université, 20, rue Vauthier, à Ixelles-Bruxelles (Belgique).

ROUSSEAU (Paul), Fabricant de produits chimiques, 16, rue des Fossés Saint-Jacques.

ROUSSELET, Proviseur du Lycée de Roanne.

ROUSSELOT (l'abbé), Professeur à l'Institut catholique, 74, rue de Vaugirard.

ROUX (Gaston), Ingénieur électricien, 51, rue de Dunkerque.

ROUX, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à l'École Sainte-Geneviève, 223, boulevard Raspail.

ROWLAND, Professeur à l'Université Johns Hopkins, à Baltimore (États-Unis).

ROZIER (F.), Docteur en Médecine, 10, rue du Petit-Pont.

SACERDOTE (Paul), ancien élève de l'École Normale supérieure, Professeur-Agrégé au Collège Ste-Barbe, 97, boulevard Saint-Michel.

SADOWSKY (Alexandre), Professeur à l'Université impériale de Physique à Juriew (Russie).

SAÏD (Dj.), Ingénieur, 54, rue Notre-Dame-des-Champs.

MM.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Émile**), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 12, rue Alphonse de Neuville.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Henri**), ancien Directeur des Manufactures de l'État, Administrateur délégué de la Société anonyme des anciennes salines domaniales de l'Est, 95, rue de Courcelles.

SALADIN (**Édouard**), Ingénieur civil des Mines, à la Cie de Junction City, 12, rue Roquépine.

SALCHER (Dr **P.**), Professeur à l'Académie Impériale de Fiume (Autriche-Hongrie).

SALLES (**Adolphe**), 1, rue Rabelais.

SANDOZ (**Albert**), Préparateur des Travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine, 11, rue Rataud.

SARASIN (**E.**), Docteur ès sciences, à Genève (Suisse).

SARRAN, Professeur au Lycée de Bordeaux.

SARRAU, Membre de l'Institut, Ingénieur en Chef des Poudres et Salpêtres, professeur de Mécanique à l'École Polytechnique, 9 *bis*, avenue Daumesnil, à Saint-Mandé.

SAUSSE (**A.**), Préparateur à la Faculté des Sciences de Caen.

SAUTTER (**Gaston**), Ingénieur, 26, avenue de Suffren.

SCHILLER (**Nicolas**), Professeur de Physique à l'Université de Kieff (Russie).

SCHNEIDER (**Théodore**), Professeur de Chimie à l'École Monge, 5, rue Bosio, à Auteuil.

SCHÜRR, Professeur au Lycée, 25, rue Barathon, à Montluçon.

SCHWEDOFF, Doyen de la Faculté des Sciences, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

SCIAMA, Ingénieur civil des Mines, directeur de la maison Bréguet, 15, rue Bizet.

SCOBELTZINE (**Wladimir**), Préparateur au Laboratoire de Physique de l'Université, à Saint-Pétersbourg (Russie).

SEBERT, Général d'Artillerie de Marine, Administrateur des Forges et Chantiers de la Méditerranée, 14, rue Brémontier.

SECRÉTAN (**G.**) Ingénieur opticien, 13, place du Pont-Neuf.

SÉGUIN, ancien Recteur, 1, rue Ballu.

SEIGNETTE (**Adrien**), Professeur au Lycée Condorcet, 21, rue Tronchet.

SELIGMANN-LUI, Sous-Inspecteur des Télégraphes, 103, rue de Grenelle.

SENTIS, Professeur au Lycée, 17, boulevard de Roanne, à Grenoble.

SERPOLLET, Ingénieur, 27, rue des Cloys.

SERRÉ-GUINO, Examinateur honoraire à l'École de Saint-Cyr, 114, rue du Bac.

SIEGLER, Ingénieur en chef de la voie à la Compagnie des chemins de fer de l'Est, 96, rue de Maubeuge.

SIGALAS (Dr **C.**), Agrégé, Chef des Travaux, chargé d'un Cours complémentaire de Physique à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 4, rue Théodore-Ducos, à Bordeaux.

MM.

SIMOUTRE (l'abbé), Professeur de Physique au grand séminaire de Nancy.

SIRE (**G.**), Correspondant de l'Institut, à Besançon-Mouillière.

SIRVENT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 73, rue de Rennes.

SLOUGUINOFF, Directeur de l'Institut de Physique de l'Université impériale de Kasan (Russie).

SMOLUCHOWSKI DE SMOLAN (le Chevalier), Docteur ès sciences, au laboratoire de M. Lippmann, à la Sorbonne.

SOKOLOFF (**Alexis**), Professeur de Physique à l'Académie de Moscou (Russie).

SOMZÉE (**Léon**), Ingénieur honoraire des Mines, 22, rue du Palais, à Bruxelles (Belgique).

SORET, Professeur au Lycée du Havre.

SORBIER (**J.**), Professeur au Lycée, 70, rue Bourg-Neuf, à Bayonne.

SOUCARET, Directeur gérant du Journal *l'Écho scientifique,* 5, rue des Grands-Augustins.

STACKELBERG (Baron **Édouard de**), Schumannstrass, 2 ou 3, à Leipzig (Allemagne).

STAPFER (**Daniel**), Ingénieur, boulevard de la Mayor, à Marseille.

STCHEGLAIEF (**Wladimir**), Professeur de Physique à la Haute École technique de Moscou (Russie).

STEPANOFF, Professeur de Physique, à Cronstadt (Russie).

STOKES (**G.-G.**), Professeur de Mathématiques à l'Université de Cambridge, Lensfield Cottage, Cambridge (Angleterre).

STRAUSS, Chef du Génie, 16, boulevard de la Liberté, à Gap.

STREET (**Charles**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 60, boulevard Haussmann.

SWYNGEDAUW, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Lille.

TACCHINI, Astronome, Directeur du Bureau météorologique d'Italie, à Rome.

TAILLEFER (**André**), ancien élève de l'École Polytechnique, 5, rue Bonaparte.

TEISSERENC DE BORT (**Léon**), Chef du Service de Météorologie générale au Bureau central météorologique, Secrétaire général de la Société Météorologique de France, 82, avenue Marceau.

TEISSIER, Professeur au Lycée, 5, rue de Lille, à Nice.

TEPLOFF, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimir Kaies, 15, maison Friedrichs, à Saint-Pétersbourg (Russie).

TERMIER, Ingénieur des Mines, Professeur à l'École nationale des Mines, 71, rue Claude-Bernard.

THENARD (le **baron Arnould**), chimiste agriculteur, 6, place Saint-Sulpice.

THIERRY (**Maurice de**), Docteur en Médecine, 119, rue d'Alésia.

THIESEN (Dr **Max.**), à Charlottemburg, Berlinerstrasse, 22, à Berlin.

THIMONT, Professeur au Collège Stanislas, 144, boulevard du Montparnasse.

THOMAS, Professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger.

MM.

THOMPSON (Silvanus-P.), Professeur à Finsbury Technical College, Morland, Chislett Road, West Hampstead, Londres, N. W. (Angleterre).

THOUVENEL, Professeur au Lycée Charlemagne, 100, rue de Rennes.

THOUVENOT (Clovis), Directeur della Societa electrotecnica, via delle Tre Pile, 3-8, à Rome (Italie).

TIMIRIAZEFF, Professeur à l'Université et à l'Académie agronomique de Moscou (Russie).

TISSANDIER (Gaston), Directeur du Journal « *La Nature* », 50, rue de Châteaudun.

TISSIER, Professeur au Lycée Voltaire, 1, rue Mirbel.

TISSOT, Enseigne de Vaisseau, chargé d'un Cours de Physique à l'École navale, 107, rue de Siam, à Brest.

TOMBECK, Licencié ès sciences, 8, square du Croisic.

TONARELLI, Proviseur du Lycée du Puy.

TORCHEBEUF (Ch.), Constructeur d'instruments de Physique, 13, rue du Val-de-Grâce.

TOUANNE (de la), Ingénieur des Télégraphes, 13, rue Soufflot.

TOUPOT (l'abbé **J.-E.**), Professeur à l'École Fénelon, à Bar-le-Duc.

TRIPIER (Dr), 41, rue Cambon.

TROOST, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 84, rue Bonaparte.

TROUVÉ (G.), Constructeur d'instruments de précision, 14, rue Vivienne.

TSCHERNING (Dr) Sous-Directeur du Laboratoire d'Ophtalmologie à la Faculté des Sciences, 15, rue de Mézières.

TULEU (Charles), Ingénieur, 58, rue Hauteville.

TURPAIN, Préparateur à la Faculté des Sciences, 104, rue de Pessac, à Bordeaux.

UCHARD (A.), Chef d'escadron d'Artillerie, 46, boulevard de l'Arsenal, à Bourges.

UNIVERSITÉ DE SYDNEY (New South Wales).

VACHER (Paul), 45, rue de Sèvres.

VAGNIEZ-BENONI, Négociant, 14, rue Lemerchier, Amiens.

VAGNIEZ (Edouard), 14, rue Lemerchier, à Amiens.

VAN AUBEL (Dr Edmond), Professeur à l'Université de Gand, 12, rue de Comines, à Bruxelles (Belgique).

VAN DER MENSBRUGGHE (Gustave-Léonard), Membre de l'Académie Royale, Professeur de Physique mathématique à l'Université, 80, rue Coupure, à Gand (Belgique).

VAN DER VLIET, Professeur de Physique à l'Université de St-Pétersbourg. (Russie).

VANDEVYVER, Docteur ès sciences et Répétiteur à l'Université, 14, rue Saint-Amand, à Gand (Belgique).

MM.

VARACHE (**A.**), Professeur au Collège, 28, rue de la Rotonde, à Béziers.

VARENNE (**de**), Préparateur du Laboratoire de Physiologie générale au Muséum, 7, rue de Médicis.

VASCHY, Ingénieur des Télégraphes, Répétiteur à l'École Polytechnique, 68, avenue Bosquet.

VAUGEOIS (**Jean-Georges**), Ingénieur électricien à l'usine G.-B. Blot, Fabricant d'accumulateurs, 7, boulevard Solférino, à Billancourt (Seine).

VASSEUR (**Alfred**), 4, Petite-Rue de Barette, à Amiens.

VAUTIER (**Théodore**), Professeur adjoint de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon.

VAYSSIÈRES (**Louis**), Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté des Sciences, 9, rue Beaumont, à Marseille.

VELTER (**Jules**), Ingénieur des Arts et Manufactures, successeur de M. Deleuil, 42, rue des Fourneaux.

VERDIN (**Charles**), Constructeur d'instruments de Physiologie, 7, rue Linné.

VERNIER (**Victor**), Professeur au Lycée, 17, rue des Grandes Écoles, à Poitiers.

VIDAL (**Léon**), Professeur à l'École des Arts décoratifs, 7, rue Scheffer.

VIEILLE, Ingénieur des Poudres et Salpêtres, Répétiteur à l'École Polytechnique, 19, quai Bourbon.

VIGNON, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Lyon.

VIGOUROUX (Dr **Romain**), Chef du service autonome d'électrothérapie (Salpêtrière), 22, rue Notre-Dame-de-Lorette.

VILLARD, Agrégé de l'Université, 45, rue d'Ulm.

VILLIERS (**Antoine**), Agrégé à l'École de Pharmacie, 30, avenue de l'Observatoire.

VINCENS, Licencié ès Sciences mathématiques et physiques, 59, rue d'Amsterdam.

VIOLET (**Léon**), 20, rue Delambre.

VIOLLE, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, Maître de Conférences à l'École Normale, 89, boulevard Saint-Michel.

VLASTO (**Ernest**), Ingénieur, Administrateur de la Société anonyme de fabrication de produits chimiques, 44, rue des Écoles.

VOIGT, Professeur honoraire du Lycée de Lyon, à Géanges, par Saint-Loup de la Salle (Saône-et-Loire).

VOISENAT (**Jules**), Ingénieur des Télégraphes, 74, boulevard du Montparnasse.

WAHA (**de**), Professeur de Physique, à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

WALLON (**E.**), Professeur au Lycée Janson de Sailly, 65, rue de Prony.

WEILLER (**Lazare**), Ingénieur manufacturier, 52, boulevard Malesherbes.

WEISS (**Dr Georges**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, 119, boulevard Saint-Germain.

WEISS (**Pierre**), Docteur ès sciences, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Rennes.

MM.

WENDT (**Gustave**), Constructeur d'instruments de Physique (maison Hempel), 55, quai des Grands-Augustins.

WERLEIN (**Ivan**), Constructeur d'instruments d'Optique, 71, rue du Cardinal-Lemoine.

WEST (**Émile**), Chef du laboratoire des Chemins de fer de l'Ouest, 29, rue Jacques-Dulud, à Neuilly-sur-Seine.

WEYHER, Ingénieur, Administrateur-Directeur de la Société centrale de Construction de Machines, 36, rue Ampère.

WIEDEMANN (**Eilhard**), Professeur de Physique, à Erlangen (Allemagne).

WITZ (**Aimé**), Ingénieur civil, Professeur aux Facultés catholiques, 29, rue d'Antin, à Lille.

WOLF, Membre de l'Institut, Astronome à l'Observatoire de Paris, Professeur à la Faculté des Sciences, 1, rue des Feuillantines.

WOLFF (Dr), Professeur à l'École de Médecine, 52, rue Bernard-Palissy, à Tours.

WOULFF, Agrégé de l'Université de Varsovie (Russie).

WUILLEUMIER (**H.**), Docteur ès sciences, 98, rue d'Assas.

WUNSCHENDORFF, Ingénieur chargé de la construction des lignes souterraines, au Ministère des Postes et des Télégraphes, 92, rue de Rennes.

WYROUBOFF (**G.**); Docteur ès sciences, 141, rue de Rennes.

XAMBEU, Principal honoraire, 41, Grande-Rue, à Saintes.

YVON (P.), Pharmacien, 26, avenue de l'Observatoire.

ZAHM (le R. P. **J.-A.**), Professeur de Physique, à l'Université, à Notre-Dame (Indiana) (États-Unis).

ZEGERS (**Louis-L.**), Ingénieur des Mines du Chili, 63, S. Martin, à Santiago (Chili).

ZILOFF, Professeur de Physique, à l'Université de Varsovie (Russie).

ZUPP, Professeur en retraite, 21, rue Saint-Gilles, à Brest.

Juin 1896.

Prière d'adresser au Secrétaire général les rectifications et changements d'adresse.

TABLE DES MATIÈRES.

23535 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS ET FILS, quai des Grands-Augustins, 55.



